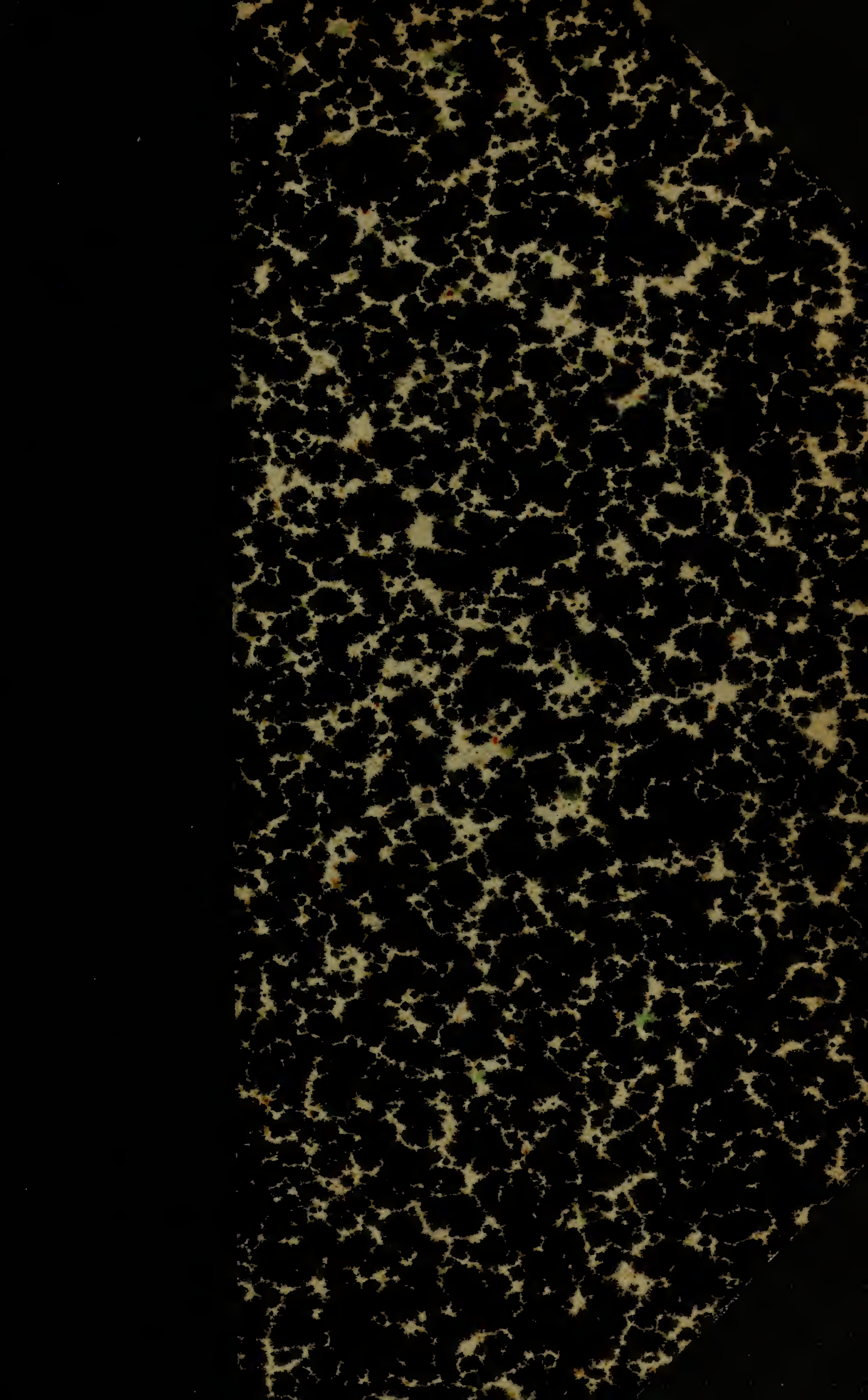
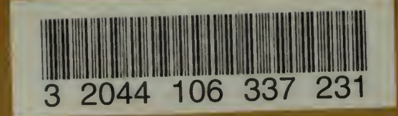




ARCHIVES NÉERLANDAISES

DES

SCIENCES

EXACTES ET NATURELLES

PUBLIÉES PAR

LA SOCIÉTÉ HOLLANDAISE DE SCIENCES A HARLEM,

ET REDIGÉES PAR

E. H. VON BAUMHAUER

Secrétaire de la Société,

AVEC LA COLLABORATION DE

MM. **D. Bierens de Haan, C. A. J. A. Oudemans, W. Koster,**
C. H. D. Buijs Ballot et S. C. Snellen van Vollenhoven.

TOME IX.

LA HAYE,
MARTINUS NIJHOFF,
1874.

TABLE DES MATIÈRES.

Programme de la Société Hollandaise des Sciences à Harlem pour l'année 1874 .... Pag. I—VII.
M. J. L. Hoorweg, Sur la théorie de Doppler .... Pag. 1.
V. S. M. van der Willigen, Sur la fausseté de la proposition que que la réfraction des rayons lumineux est modifiée par le mouvement de la source lumineuse et du prisme .... 〃 41.
C. K. Hoffmann, Sur l'anatomie des astérides .... 〃 131.
A. W. M. van Hasselt, Seconde communication sur les poisons à flèche Africains .... 〃 164.
C. H. D. Buys-Ballot, Sur la signification du Congrès météorologique de Vienne pour l'avenir de la méteorologie .... 〃 171.
P. J. van Kerckhoff, Sur la constance ou la variabilité de la valeur de eombinaison des éléments .... 〃 178.
J. A. Groshans, Sur la nature des éléments (corps non-décomposés) de la chimie .... 〃 193.
E. H. von Baumhauer, Sur un météorographe universel destiné aux observatoires solitaires .... 〃 230.
T. Zaaijer, Sur la scaphocéphalie .... 〃 259.
A. C. Oudemans, Sur les combinaisons de la quinine avec le benzol, le toluol et autres hydrocarbures .... 〃 285.
P. Bleeker, Esquise d'un système naturel des gobioïdes .... 〃 289.
Th. W. Engelmann, Sur l'influence que la nature de la membrane exerce sur l'osmose électrique .... 〃 332.
H. C. Dibbits, Sur la solubilité et la dissociation des bicarbonates de soude, de potasse et d'ammoniaque .... 〃 348.
Laidlaw Purves, Endothélium et émigration .... 〃 374.

J. J. van Renesse, Sur les acides octylique et caprylique........ Pag. 381.
M. Hoek, Sur les comètes 1860 III, 1863 I et 1863 VI......... " 385.
——— Sur les comètes de 1677 et 1683; 1860 III, 1863 I et 1863 VI " 396.
J. de Jong, Sur l'intégration de l'équation différentielle linéaire du second ordre.. " 411.
F. Seelheim, Sur la salure des eaux de la Zélande.............. " 433.
J. A. van 't Hoff, Sur les formules de structure dans l'espace.... " 445.
P. Bleeker, Sur les espèces insulindiennes de la famille des Nandoïdes " 455.
——— Sur les espèces insulindiennes de la famille des Opisthognathoïdes.. " 466.
Maurits Snellen, Sur un hygromètre à balance................ " 477.
E. H. von Baumhauer, Remarques au sujet de cette dernière communication.. " 479.

TOME IX. 1ère et 2me Livraison.

ARCHIVES NÉERLANDAISES

DES

SCIENCES

EXACTES ET NATURELLES

PUBLIÉES PAR

LA SOCIÉTÉ HOLLANDAISE DES SCIENCES À HARLEM,

ET RÉDIGÉES PAR

E. H. VON BAUMHAUER

Secrétaire de la Société,

AVEC LA COLLABORATION DE

MM. D. Bierens de Haan, C. A. J. A. Oudemans, W. Koster,
C. H. D. Buijs Ballot et S. C. Snellen van Vollenhoven.

LA HAYE
MARTINUS NIJHOFF.

BRUXELLES C. MUQUARDT. — PARIS AUG. DURAND. — LEIPZIG T. O. WEIGEL.

LONDRES TRÜBNER & C°. — WILLIAMS & NORGATE. — NEW-YORK B. WESTERMANN & C°. — F. W. CHRISTERN.

1874.

ARCHIVES NÉERLANDAISES

DES

Sciences exactes et naturelles.

SUR LA

THÉORIE DE DOPPLER,

PAR

M. J. L. HOORWEG.

1. En 1842, le professeur Chr. Doppler publia une brochure „*Ueber das farbige Licht der Doppelsterne,* Prag, Borrisch u. André", qui, en dépit de la modestie de son titre, attira l'attention générale.

Il y déduisait très simplement de la théorie des ondulations une nouvelle conclusion, applicable au son et à la lumière, savoir, que lorsque la source de vibration ou l'observateur se meuvent, les tons et les couleurs doivent se présenter autrement que dans l'état de repos relatif.

C'est cette conclusion générale, désignée sous le nom de théorie de Doppler, que je désire soumettre à un examen plus détaillé, en faisant totalement abstraction des conséquences ultérieures concernant la couleur des étoiles doubles, etc.

2. Lorsqu'un corps engendre de la lumière ou du son, il émet une série d'ondes. Si celles-ci rencontrent un œil ou une oreille, elles y produisent chacune un ébranlement, et la succession régulière de ces ébranlements excite la sensation d'une couleur ou d'un ton. Suivant que le nombre des ébranlements est plus grand ou plus petit par seconde, la couleur ou le ton montent ou s'abaissent.

Si maintenant l'oreille ou l'œil se meut, par exemple vers la source de vibrations, elle rencontrera nécessairement par seconde un nombre d'ondes plus grand que lorsqu'elle était au repos; le ton devra donc être plus élevé. La même chose arrivera si c'est la source vibratoire qui se meut vers l'observateur. Pour se représenter le phénomène plus clairement, on peut recourir à quelques comparaisons vulgaires.

Dans une cuve pleine d'eau on excite des ondulations, qui plus loin vont frapper la main d'une personne. Si celle-ci fait avancer sa main avec plus ou moins de vitesse dans la direction de la source des ondulations, elle recevra, dans le même temps, plus de chocs que lorsqu'elle la tient immobile.

Quelqu'un (l'oreille) se promène dans la rue et y rencontre, à des intervalles réguliers, un grand nombre de ses connaissances (les ondes); tous le saluent en ôtant leur chapeau, et à chacun il rend son salut en se découvrant lui-même. N'est-il pas clair que ce quelqu'un devra donner des coups de chapeau plus multipliés (un ton plus élevé) lorsqu'il marche à la rencontre de ses connaissances que lorsqu'il les laisse défiler devant lui ou qu'il suit la même direction qu'elles?

Voyons maintenant la suite du raisonnement de Doppler (*l. c.*) Soit O un observateur O ———— A Q′ Q au repos, Q une source de vibrations qui se meut avec la vitesse a vers l'observateur; représentons par v la vitesse avec laquelle les ondes se propagent, et par t le nombre de secondes dont l'onde a besoin pour parcourir une longueur d'onde Q A (t est la durée de vibration). Il n'y a à considérer que l'influence du mouvement sur l'onde la plus rapprochée de la source, parce que, une fois constituées, les ondes se propagent sans la moindre altération jusqu'à l'observateur.

Or, pendant que la première onde s'est portée de Q en A et a parcouru le chemin $v\ t$, la source Q est elle-même arrivée en Q′, à une distance Q Q′ $= a\,t$. La deuxième onde n'a donc plus besoin que du temps x, nécessaire pour parcourir la nouvelle longueur d'onde Q′ A. On a par conséquent:

$$v\,t - a\,t = v\,x,$$

et
$$x = \frac{v - a}{v}\,t$$

où t est la durée de vibration primitive,
x „ „ „ „ nouvelle.

Lorsque, au lieu de la source, c'est l'observateur qui se déplace, on considère la dernière onde, et on trouve ainsi:

$$v\,x + a\,x = v\,t$$

$$x = \frac{v}{v + a}\,t$$

M. Buys-Ballot [1]) présente la chose de la manière suivante.

Les vibrations isochrones d'un corps sonore parviennent après des intervalles égaux à l'oreille de l'observateur, et y donnent par conséquent l'impression du ton même qui a été produit. Le ton subjectif est égal au ton objectif, dans le cas où l'instrument et l'observateur ne changent pas de place l'un par rapport à l'autre. Mais s'ils sont en mouvement relatif, le résultat sera différent. En supposant que ce soit l'instrument qui se meuve, chaque vibration partira d'un autre point que la précédente; elle aura donc besoin d'un temps plus long ou plus court pour atteindre l'observateur. La grandeur du changement que subit ainsi chaque vibration sera, en donnant aux lettres la même signification que ci-dessus,

$$\pm \frac{a}{v}.$$

Les vibrations successives d'un ton de n vibrations par seconde ne seront maintenant plus séparées par un intervalle de $\frac{1}{n}$ de seconde, mais par un intervalle de $\frac{1}{n}\left(1 \pm a\,v\right)$. Le ton perçu paraîtra donc faire $n' = \dfrac{n}{1 \pm \frac{a}{v}}$ vibrations par seconde; c'est là la hauteur *subjective*.

---

[1]) Pogg. *Annalen*, t. LXVI. p. 321.

Dans l'hypothèse où ce n'est pas la source sonore qui se meut, mais l'observateur, on trouve de la même manière pour la hauteur subjective:

$$n' = n\left(1 \mp \frac{a}{v}\right)$$

Comme n et n' ont ici la même signification que $\frac{1}{t}$ et $\frac{1}{x}$ chez Doppler, les deux façons de présenter la question conduisent au même résultat.

M. J. C. Maxwell [1]) raisonne de la manière suivante:

Soit une source lumineuse exécutant n vibrations par seconde, et éloignée de la Terre à une distance telle que la lumière ait besoin de T secondes pour arriver jusqu'à nous.

Supposons maintenant que la distance de la source lumineuse à la Terre change, soit par le mouvement de la source soit par celui de la Terre, de telle sorte que la lumière, émise t secondes plus tard, atteigne la Terre en un temps T'. Pendant la durée t la source lumineuse a exécuté $n\,t$ vibrations, lesquelles ont atteint la Terre entre le temps T et le temps $t + T'$, par conséquent en $t + T' - T$ secondes. Le nombre des vibrations qui atteignent la Terre par seconde est donc:

$$n' = \frac{n\,t}{t + T' - T}.$$

Mais, en nommant a la vitesse avec laquelle la source lumineuse et la Terre s'éloignent l'une de l'autre, et v la vitesse de la lumière, on a:

$$a\,t = v\,(T' - T),$$

par conséquent

$$n' = \frac{n\,t}{t + \frac{a\,t}{v}} = \frac{v}{v + a}\,n.$$

Les raisonnements des autres partisans de la théorie de Doppler se laissent tous ramener à l'un des trois que je viens d'exposer. On peut remarquer que, tandis que Doppler parle de raccourcisse-

[1]) *Phil. Transact.*, 1868, p. 532.

ment des ondes, MM. Buys-Ballot et Maxwell s'attachent à l'augmentation de fréquence des vibrations.

3. Lorsqu'on considère les aspects divers sous lesquels la théorie de Doppler a été présentée, et qu'on songe que tous ces points de vue, si différents qu'ils soient, ont conduit au même résultat, il est difficile de croire qu'une doctrine si claire et si simple puisse encore être sujette aux objections.

Pourtant, dès l'année 1852, elle eut à subir une attaque très vive de la part d'un mathématicien éminent, M. Jos. Petzval [1]), et la manière dont celui-ci traita la théorie, alors déjà en possession de la faveur générale, est telle, qu'on se sent porté à prendre en pitié les savants qui se sont laissé abuser si déplorablement.

A l'aide de développements analytiques compliqués, il commence par étendre les formules de Cauchy, relatives à la propagation du mouvement ondulatoire dans un milieu en repos, au cas où le milieu lui-même se trouve à l'état de courant permanent. Il montre alors que la longueur d'onde et l'amplitude peuvent changer, mais *non* la durée de vibration, et en conséquence il pose comme „fanal sur la route de la science à l'usage de ceux qui risqueraient de s'égarer" (ce sont ses propres expressions), le principe de „*la constance de la durée de vibration*", principe aussi sûr et aussi inébranlable que celui de la conservation de l'énergie.

Plus loin, il dit à peu près ce qui suit: Une onde n'est qu'un lieu géométrique, où un certain cosinus prend la valeur 1; toute existence réelle, toute matérialité lui fait défaut. On n'a donc pas à s'occuper de la longueur de l'onde; la seule chose dont il faille tenir compte, c'est la durée de vibration, et comme celle-ci n'éprouve aucun changement par le mouvement progressif du milieu, il ne saurait y avoir non plus un changement de la couleur ou de la hauteur du son. Ce qui est vrai du mouvement progressif du milieu sera d'ailleurs vrai aussi de la source lumineuse ou de l'observateur. Du moins les raisonnements de Doppler etc. s'y appliquent de tout point.

[1]) *Sitz.-ber. der K. Wiener Acad.* 1852, Bd. 8.

Après avoir ainsi réfuté la théorie par une démonstration scientifique, M. Petzval s'en moque agréablement. A l'argument du chapeau, rappelé ci-dessus, il répond en demandant ce qui arriverait si entre les passants et le quelqu'un saluant il existait une sympathie plus grande que celle qui se manifeste par un coup de chapeau? Si, par exemple, ils se rassemblaient tous autour de lui, et occasionnaient ainsi une presse par laquelle quelques-uns d'entre eux se trouveraient refoulés latéralement? Dans quel ton ce quelqu'un devrait-il alors agiter son chapeau?

Au calcul de Doppler il oppose ceci. Dans ce calcul, la source de vibration Q rattrape l'onde Q A; mais pour deux raisons cela est de toute impossibilité, d'abord pour la même raison qui fait qu'un ouvrier ne saurait rattraper la brouette qu'il pousse devant lui,, et en second lieu parce qu'il se produit en avant de la source sonore une compression, qui a pour effet d'accroître la vitesse de propagation de la vibration.

Enfin, M. Petzval signale trois erreurs cachées dans la théorie de Doppler.

1°. Elle représente les ondes comme se produisant à la façon d'explosions; le corps sonore, qui exécute n vibrations par seconde, donnerait naissance à une onde en un instant indivisible, se reposerait alors $\frac{1}{n}$ de seconde, puis émettrait de nouveau une onde, et ainsi de suite.

2°. Elle attribue à chacune de ces ondes une existence indépendante, matérielle.

3°. Elle suppose que le milieu ne participe *pas* au mouvement progressif de l'instrument, mais qu'il recueille *bien* le mouvement vibratoire.

M. van der Willigen, de Harlem, dans des communications faites cette année à la Société des arts et des sciences d'Utrecht et à l'Académie des sciences d'Amsterdam, s'est rallié aux vues de M. Petzval. Cette adhésion a d'autant plus d'importance que, nonobstant les attaques de M. Petzval, la théorie de Doppler s'était maintenue jusqu'ici et avait même trouvé, par suite du développe-

ment de l'analyse spectrale, une intéressante application à la détermination du mouvement propre des étoiles.

Les objections de M. van der Willigen n'ont pas encore été publiées par la voie de l'impression, mais, autant que je me le rappelle, elles sont tout à fait les mêmes que celles de M. Petzval. Son raisonnement m'a paru revenir au fond à cette phrase familière: „la pluie mouille partout de même.”

Ce ne sont pas, en effet, les ondes, mais bien les particules d'air en contact avec l'oreille, qui affectent l'organe auditif. Si nous avons quelque part un diapason faisant 512 vibrations par seconde, toutes les particules d'air qui l'entourent finiront par exécuter aussi 512 oscillations par seconde, aussi bien celles qui touchent l'oreille que celles qui en sont éloignées. Si maintenant nous nous mettons en mouvement, l'oreille viendra bien en contact avec d'autres particules, mais celles-ci vibrent de la même manière que les précédentes, et la membrane du tympan recevra de nouveau 512 chocs par seconde. Tout reste donc précisément dans le même état.

M. van der Willigen a en outre fait opposition à la thèse exprimée par ces paroles de M. Maxwell [1]: „If therefore the light of the star is due to the combustion of sodium or any other element which gives rise to vibrations of definite period, or if the light of the star is absorbed by sodium vapour so as to be deficient in vibrations of a definite period, then the light, when it reaches the earth, will have an excess or defect of rays whose period of vibration is to that of the sodium period as $v + a$ is to v”.

Cette opposition, j'avoue ne pas en avoir très bien saisi le sens. La conclusion de M. Maxwell me paraît être parfaitement exacte, si la théorie de Doppler est elle-même fondée.

4. Après avoir résumé le pour et le contre de cette théorie, il nous sera maintenant peut-être possible de prononcer un jugement. Pour cela, nous devons examiner de plus près les erreurs indiquées par M. Petzval.

a. Une onde prend-elle naissance en un instant indivisible?

---

[1]) *Phil. Transact.*, 1868, p. 532.

Il n'y a personne qui à cette question ne fasse immédiatement une réponse négative, car on sait que pour la production d'une onde une vibration entière est nécessaire. Le temps dans lequel une onde se constitue est donc la durée d'une vibration. La source sonore, supposée animée d'un mouvement de translation, ne se déplace pas seulement après chaque onde, mais aussi durant la production de cette onde. L'instrument vient en contact avec de nouvelles particules du milieu, non pas après chaque vibration, considérée comme instantanée, mais à chaque phase de la vibration. Or, si l'on analyse le raisonnement de Doppler, on voit qu'il suppose aux vibrations ce caractère explosif. Il y a donc ici réellement une erreur, qui toutefois n'a pas été commise par M. Buys-Ballot ni par M. Maxwell.

Mais il est encore possible que le résultat reste le même, soit que le corps, qui émet un son de n vibrations par seconde, vibre en un instant indivisible, puis se déplace pendant $\frac{1}{n}$ de seconde, puis vibre de nouveau instantanément, etc., — soit que chaque vibration, comme c'est en réalité le cas, se distribue sur $\frac{1}{n}$ de seconde, et que par conséquent le mouvement de progression s'exécute en même temps que le mouvement vibratoire. Au point de vue mécanique, rien ne s'oppose à cette possibilité, et M. Petzval lui-même a montré [1]) qu'en adoptant la seconde hypothèse, la seule conforme à la vérité, on arrive au même résultat qu'en suivant le raisonnement simple de Doppler, à la seule condition d'admettre que le milieu ne participe pas au mouvement progressif de la source sonore.

Voici comment M. Petzval présente la chose.

Lorsque des particules, situées dans un même plan ou à une très petite distance de ce plan, sont écartées de leur position de repos ou mises en mouvement de quelque autre manière, l'onde

---

[1]) *Sitz.-ber. der K. Wiener Acad.*, t. VIII, p. 552.

plane se partage immédiatement, à l'origine de l'accroissement de temps t, en au moins deux ondes différentes, qui se propagent dans l'espace, chacune avec la moitié de la quantité de mouvement, avec la même vitesse et en sens opposé. Si le déplacement primitif des particules est $\xi = 2 f(x)$, où par $f(x)$ on doit se représenter une fonction qui ne diffère sensiblement de 0 qu'au voisinage de $x = 0$, on a donc après le temps t

$$\xi = f(x - vt) + f(x + vt).$$

Si maintenant, outre l'excitation vibratoire qui a agi au moment $t = 0$, il s'en produit encore une nouvelle au moment $t = \theta$, dans un plan parallèle au premier et situé à une distance b, le déplacement ξ', à la distance x de l'origine, sera devenu par suite de l'excitation postérieure:

$$\xi' = f(x - b - v(t - \theta)(+ f(x - b + v(t - \theta)) \qquad (A).$$

Mais il y a un nombre indéfini d'excitations très petites, agissant à des intervalles infiniment courts $d\theta$, et de nature périodique, excitations dont la source se meut à travers l'espace avec la vitesse a; le déplacement total à la distance x de l'origine sera donc:

$$\xi = \int_0^t f(x - a\theta - v(t - \theta) \sin k\theta . d\theta +$$

$$\int_0^t f(x - a\theta + v(t - \theta) \sin k\theta . d\theta,$$

attendu qu'on a: $b = a\theta$.

Posant dans la première intégrale

$$x - a\theta - v(t - \theta) = u,$$

elle devient:

$$\int \frac{f(u)}{v - a} \sin k \frac{u - x + vt}{v - a} du.$$

De la nature même de $f(u)$ il suit d'ailleurs que dans l'expression $\sin k \dfrac{u - x + vt}{v - a}$ on peut omettre la terme u, ce qui,

en posant en outre

$$\int f(u)\, du = C,$$

donne à l'intégrale la forme

$$\frac{C}{v - a} \sin \frac{k}{v - a} (v t - x).$$

La seconde intégrale peut être trouvée de la même manière, de sorte que la valeur de ξ devient:

$$\xi = \frac{C}{v - a} \sin \frac{k}{v - a} (v t - x) - \frac{C}{v + a} \sin \frac{k}{v + a} (v t + x),$$

expression qui marque deux mouvements ondulatoires en sens opposé, et dont les durées de vibration sont:

$$\frac{2 \pi (v - a)}{k v} \text{ et } \frac{2 \pi (v + a)}{v k}.$$

Lorsque $a = 0$, c'est-à-dire, lorsque la source de vibration ne se déplace pas, la durée de vibration est

$$t = \frac{2 \pi}{k},$$

d'où résulte pour les autres durées de vibration:

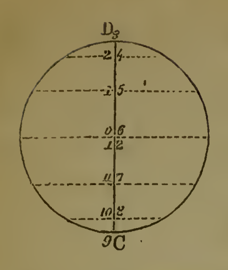
$$t' = t \left(\frac{v - a}{v} \right) \text{ et } t'' = t \left(\frac{v + a}{v} \right),$$

ce qui est tout à fait conforme au résultat du calcul de Doppler.

Ce calcul convient aussi bien pour les vibrations transversales que pour les vibrations longitudinales.

Comme beaucoup d'auteurs, et entre autres Doppler lui-même, ont prétendu que la théorie ne saurait s'appliquer aux vibrations transversales, je donnerai encore un exemple pour ce dernier cas.

Représentons-nous une source lumineuse O, qui excite des vibrations transversales dans l'éther ambiant, et se déplace avec une vitesse égale à la moitié de la vitesse de la lumière; cherchons le mode de vibration d'une particule d'éther A, située par ex. à $1\frac{1}{2} = \frac{18}{12}$ longueurs d'onde du lieu initial de la source lumineuse O, du côté vers lequel O se meut. Construisons de la



manière ordinaire les points de la ligne de vibration $C D$, où O se trouve après $\frac{1}{12}$, $\frac{2}{12}$, etc. de la durée de vibration, sous l'influence seule du mouvement vibratoire, et indiquons ces positions par les chiffres (0), (1), (2), etc. Comptons en outre le temps à partir du moment où O occupe la position (0).

A ne commencera alors à vibrer qu'après $\frac{18}{12}$ de la durée de vibration, et se trouvera donc à ce moment dans la positiou (0).

La particule lumineuse O étant arrivée dans la position (2), cette même phase se retrouverait à l'endroit A après $\frac{20}{12}$ de durée de vibration, si O ne s'était pas déplacée; mais comme, pendant ce temps, la particule lumineuse s'est avancée vers A de $\frac{1}{12}$ de longueur d'onde, cette même phase (2) parvient déjà en A après $\frac{19}{12}$ de durée de vibration.

De la même manière, après $\frac{20}{12}$ de durée de vibration, A ne se trouvera pas dans la position (3), mais déjà dans la position (4), et par conséquent, après $\frac{24}{12}$ de durée de vibration, c'est-à-dire $\frac{6}{12}$ de durée de vibration après l'ébranlement initial de A, cette particule aura accompli une vibration entière.

A vibre donc deux fois plus vite que O, résultat entièrement conforme à la formule:

$$n\left(\frac{1}{1-\frac{a}{v}}\right).$$

Enfin, je mentionnerai encore que M. Klinkerfuss [1]), par une tout autre voie que M. Petzval, mais en partant aussi de l'équation aux différentielles partielles.

$$\frac{d^2y}{dt^2}=\alpha^2\frac{d^2y}{dx^2},$$

est arrivé au même résultat.

On voit donc que la réponse négative, qui doit être faite à la question posée en a, n'entraîne nullement la chute de la théorie dont nous nous occupons.

[1]) *Gött. Nachr.* 1868.

b. Une onde est-elle un individu matériel, progressant d'une façon indépendante et capable de produire des chocs?

Lorsqu'on donne à cette question une solution affirmative, on fait songer, selon M. Petzval, à l'homme qui, un jour de grand vent, alarmait ses voisins en criant: „le blé décampe''. C'est pourtant là une faute que Doppler, M. Buys Ballot et M. Maxwell ont commise tous les trois, car, bien que les deux derniers parlent toujours de vibrations, ce sont au fond les ondes qu'ils ont en vue.

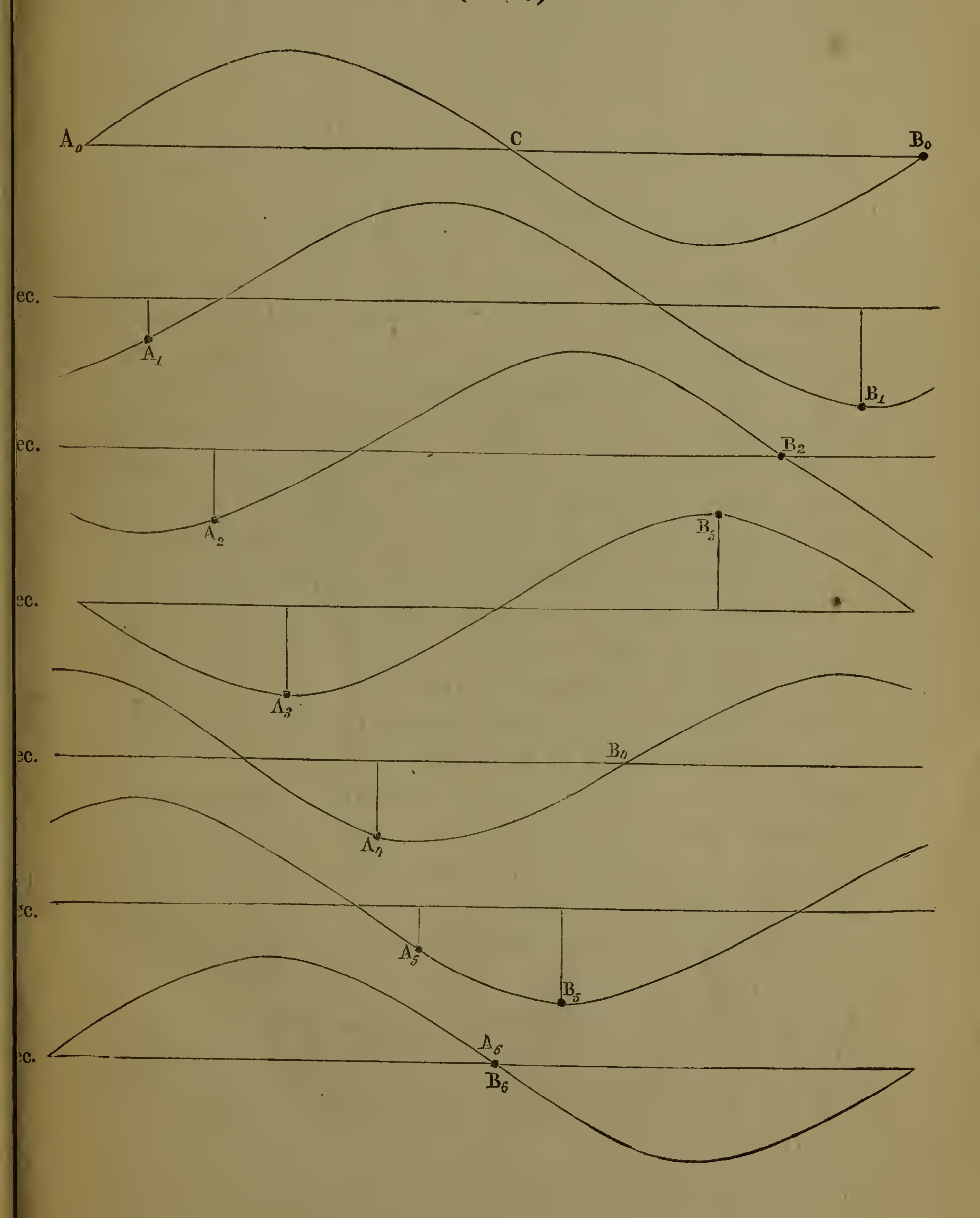
Or, une onde n'est qu'une fiction, le lieu géométrique des particules qui ont été mises en branle pendant la durée d'une vibration. La seule chose matérielle, ce sont les particules d'air ou d'éther, et celles-ci ne changent pas de place.

Mais lorsque l'observateur se déplace, il vient successivement en rapport avec toutes les parties de l'onde, et chacune de ces particules est dans une phase différente. Ne serait-il pas possible que la membrane du tympan vibre alors autrement que lorsqu'elle est en repos? L'exemple suivant rendra probable, je crois, que la vibration de la membrane du tympan est dans ce cas effectivement différente de celle des particules avec lesquelles elle entre successivement en contact, et que par conséquent l'argument „la pluie mouille partout de même'', n'est ici pas applicable.

Figurons-nous une nappe d'eau agitée d'un mouvement ondulatoire. La source des ondulations se trouve du côté A, et exécute, par exemple, 2 vibrations par seconde; il en sera de même pour toutes les particules d'eau sur la ligne d'onde $A\ C\ B$. Supposons en outre deux nacelles A et B, qui, partant des deux extrémités d'une onde, se meuvent en sens opposé, de telle façon qu'elles arrivent l'une et l'autre en C après $\frac{1}{2}$ seconde, et que leur vitesse soit par conséquent la moitié de celle avec laquelle se propagent les ondes. Si le mouvement commence à l'instant où la particule liquide A a accompli une demi-vibration, l'état de l'eau au début, après $\frac{1}{12}$ de seconde, $\frac{2}{12}$ de seconde, etc., sera tel que le représente la figure ci-contre. Aux mêmes instants, les nacelles se trouveront dans les positions indiquées par A_0, A_1, A_2 etc. et par B_0, B_1, B_2 etc. Si nous considérons maintenant l'ondulation imprimée à ces nacelles, nous

voyons clairement que, tandis que chaque particule d'eau accomplit par demi-seconde une oscillation entière, A n'en exécute que $\frac{1}{2}$, et B au contraire $1\frac{1}{2}$, ce qui est en accord complet avec la formule :

$$n\left(1 \mp \frac{a}{v}\right).$$



En ce qui concerne la seconde question, on peut donc dire : Non, l'onde n'est pas un individu ayant un mouvement progressif propre; mais la composition du mouvement ondulatoire des particules d'air et du mouvement de translation de l'oreille produit dans la membrane du tympan un état vibratoire différent de celui des particules avec lesquelles elle vient en contact. Un examen plus spécial prouve que cette composition fournit le même résultat que si chaque onde s'avançait d'un mouvement propre et imprimait séparément un choc à la membrane de l'oreille.

Bien que la question *b* doive être résolue négativement, la théorie de Doppler ne s'en trouve donc pas atteinte.

c. Est-il possible que le milieu prenne le mouvement vibratoire de la source, sans participer en même temps au mouvement progressif?

Si cette question devait recevoir une réponse négative, la théorie que nous examinons serait irrévocablement condamnée. Chacun voit, en effet, que les formes différentes sous lesquelles cette théorie a été présentée, par Doppler, par M. Buys-Ballot et par M. Maxwell, reposent entièrement, toutes les trois, sur la possibilité en question. En outre, les démonstrations plus rigoureuses de M. Petzval et de M. Klinkerfuss ont aussi cette même hypothèse pour fondement.

A première vue, il semble étrange que le milieu prenne l'un des mouvements plus facilement que l'autre; mais, en y regardant de plus près, on aperçoit entre eux tant de différence, que la possibilité du fait peut bien être admise.

Ce fait devient même probable, lorsqu'on prend en considération les arguments donnés en sa faveur par M. Mach [1]).

Quiconque a fait attention au mouvement que le passage rapide d'un bateau détermine dans une eau tranquille, sait aussi qu'il se produit bien de l'agitation en avant de la proue et en arrière de la quille, mais que ce mouvement ne s'étend que sur un court trajet, tandis que le moindre caillou, jeté dans l'eau, y provoque des rides qui se propagent au loin.

Dans le cas où la vitesse progressive ne dépasse pas certaines limites, il est donc probable que la rupture d'équilibre du milieu

[1]) *Sitz. ber. d. K. Wiener Acad.*, t. XLI, p. 546.

ne sera appréciable qu'au voisinage immédiat du corps en mouvement.

Pour ce qui concerne ensuite la lumière, les expériences de M. Fizeau [1]), relatives à la vitesse de la lumière dans une eau courante, ont confirmé l'hypothèse de Fresnel, suivant laquelle les corps en mouvement emportent seulement la portion de l'éther inclus qu'ils ont condensée autour de leurs molécules.

Or si, conformément à cette hypothèse, les corps n'entraînent même pas tout l'éther qu'ils renferment, il devient probable qu'ils ne chassent pas non plus devant eux l'éther qui les environne. On peut donc admettre hardiment, tant pour le son que pour la lumière, que le mouvement progressif apportera bien un certain trouble au voisinage immédiat de la source, mais n'exercera pas d'influence plus générale.

C'est là, du reste, un point sur lequel l'expérience doit prononcer.

Or, de pareilles expériences existent effectivement, pour ce qui regarde la lumière. Elles reposent sur la circonstance suivante. Si le mouvement de la Terre autour du Soleil se communique à l'éther ambiant, l'indice de réfraction d'une substance, pour un rayon lumineux donné, restera *le même*, que le rayon la traverse dans la direction de l'est à l'ouest, ou dans la direction opposée. Si au contraire l'éther ambiant ne participe pas au mouvement de la Terre, l'indice devra éprouver, à raison de la différence de direction susdite, un changement, de faible valeur sans doute, mais pourtant appréciable. Pour élucider ce point, nous suivrons M. Maxwell dans les considérations qu'il a présentées à ce sujet [2]).

L'indice de réfraction est déterminé par le ralentissement que subit le rayon lumineux lorsqu'il doit traverser un milieu autre que le vide. Supposons un milieu transparent, d'une épaisseur d. Soient: v la vitesse de l'éther dans l'air, v' cette même vitesse dans le milieu, V la vitesse de la lumière dans l'air, V' cette vitesse dans le corps; la vitesse absolue est alors $v + V$ dans l'air et $v' + V'$ dans le milieu, et le retard en temps est:

$$d\left(\frac{1}{v' + V'} - \frac{1}{v + V}\right),$$

[1]) *Comptes rendus*, 1851.

[2]) *Phil. Trans.*, 1868, p. 334.

tandis que le retard en distance, par rapport à la vitesse V, sera exprimé par:

$$d\left\{\left(\frac{V}{V'}-1\right)-\frac{v'}{V}\left(\frac{V^2}{V_{,}^{2}}-\frac{v}{v'}\right)+\frac{v_{,}^{2}}{V^2}\left(\frac{V^3}{V_{,}^{3}}-\frac{v^2}{v_{,}^{2}}\right)-\text{etc.}\right\}$$

Si maintenant l'éther est réellement entraîné par la Terre, il faut, d'après Fresnel, pour la conservation de la continuité de l'éther, qu'on ait la relation

$$\frac{v}{v'}=\mu^2 \ (\mu = \text{indice de réfraction});$$

on a d'ailleurs aussi, comme on sait, $\frac{V}{V'}=\mu$.

Le second terme de l'expression ci-dessus devient alors $\frac{v'}{V}\left(\frac{V'^2}{V^2}-\frac{v}{v'}\right)=0$, et le retard ne renferme plus, sauf la quantité $d\,(\mu-1)$, que des termes en $\frac{v'^2}{V^2}$, qui disparaissent, parce que V est au moins 10000 plus grand que v'.

Si au contraire l'éther ambiant ne prend aucune part au mouvement de la Terre, on a $v=0$; en nommant a la vitesse du corps transparent, on a d'autre part, d'après l'hypothèse ci-dessus rappelée de Fresnel,

$$v'=\frac{1}{p}\,a, \ (p \text{ un nombre variable}).$$

Le retard sera donc alors:

$$d\left\{\frac{V}{V'}-1-\frac{a}{p}.\ \frac{V}{V'^2}\right\}=d\left(\mu-1-\frac{\mu^2}{p}\,\frac{a}{V}\right),$$

expression dont le dernier terme sera très petit, sans être pourtant négligeable.

Dans l'un des deux cas, le mouvement de la Terre n'exercerait donc absolument aucune influence sur l'indice de réfraction des matières transparentes, dans l'autre il aurait une influence réelle, mais très petite.

Par la nature même des choses, les expériences sont donc très difficiles. Aussi Arago et M. Maxwell ont-ils obtenu des résultats négatifs, M. Fizeau et M. Angström des résultats positifs.

Les deux premiers ont déterminé la déviation qu'un rayon lumineux éprouve en traversant un prisme de verre, d'abord dans la direction de l'est à l'ouest, ensuite dans la direction opposée. Ils n'ont ni l'un ni l'autre pu observer quelque différence, bien que M. Maxwell ait fait passer le rayon deux fois par 3 prismes de 60°, de sorte qu'une déviation de $\frac{1}{20}$ de la distance des deux composantes de la raie D aurait été nettement appréciable.

M. Fizeau [1]) a suivi une marche toute différente.

On sait que lorsqu'un rayon lumineux polarisé traverse obliquement une plaque de verre, le plan de polarisation, après le passage, n'est, en général, plus le même qu'avant; il a subi une certaine déviation, dont la valeur dépend:

1°. de l'inclinaison du rayon sur la plaque de verre;

2°. de l'angle que fait le plan de polarisation avec le plan d'incidence;

3°. de l'indice de réfraction du verre.

Si donc les deux premières conditions restent les mêmes, une variation de l'indice, occasionnée par le mouvement de la Terre, aura pour conséquence une variation correspondante de la déviation du plan de polarisation.

C'est sur cette relation qu'est fondée l'expérience de M. Fizeau.

Une pile de 28—40 petites lames de verre se trouvait disposée dans un polariscope, qui était mobile autour d'un axe vertical, de manière à pouvoir être facilement placé dans la direction E — O et ensuite tourné de 180°. La déviation était mesurée alternativement dans les deux positions opposées de l'instrument, et toujours on la trouvait plus grande dans la direction de l'ouest que dans la direction inverse. Avec des piles de glaces différentes, M. Fizeau a fait de cette manière environ 2000 observations, qui toutes ont donné le même résultat. On peut donc concéder, ce me semble, que le mouvement progressif ne se communique *pas* à l'éther.

M. Angström [1]), au moyen d'observations sur des spectres fournis

[1]) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 1860, p. 129.

[1]) *Pogg. Annalen*, t. CXXIII, p. 489.

par des réseaux, a également constaté une influence du mouvement annuel de la Terre.

L'explication du fait qu'Arago et M. Maxwell n'ont obtenu aucune différence, peut être déduite de la comparaison du degré d'exactitude des méthodes suivies. On trouve qu'un prisme de 60°, tel que ceux employés par M. Maxwell au nombre de 3, fournit, pour une variation de l'indice égale à l'unité, un changement de 1,3 dans la déflexion du rayon; tandis que chacune des 28—40 lames de verre employées par M. Fizeau donne, pour la même variation de l'indice, un changement de 4,7 dans l'angle du plan de polarisation.

La troisième question *c* peut donc être résolue affirmativement; pour la lumière, en particulier, nous avons signalé une série d'expériences qui rendent le fait, sinon absolument certain, du moins hautement probable.

5. Une objection à la théorie pourrait encore être tirée de la circonstance que les formules de M. Petzval n'indiquent pas de changement de la durée de vibration dans l'hypothèse d'un milieu entraîné par un courant.

Pour décider s'il y a là réellement matière à difficulté, nous devons examiner auquel des deux cas, distingués par nous, correspond l'hypothèse en question. On aura remarqué, en effet, que nous avons établi la théorie d'une manière toute différente, selon que c'est l'observateur qui se déplace, ou bien la source sonore. Dans le premier cas, les particules d'air vibrent comme à l'ordinaire, mais l'état de vibration de la membrane du tympan change par l'effet du mouvement; dans le second cas, les particules d'air acquièrent véritablement une autre durée de vibration, qui est transmise sans modification à l'oreille. Si le cas du milieu entraîné par un courant rentre dans notre première catégorie, toute difficulté disparaît. Si au contraire il correspondait à la seconde, la formule de M. Petzval serait en opposition avec la théorie dopplerienne.

Or, en suivant avec attention le raisonnement de M. Petzval, rapporté ci-dessus (4,*a*) et relatif au déplacement de la source sonore, et cherchant quelle modification il doit subir pour le cas

d'un milieu entraîné par un courant, on reconnaît que, dans la formule (A), la quantité b ne doit alors plus se trouver sous le signe de la fonction, mais à part, de la manière suivante,

$$\xi = f\Big(x - v(t-\theta)\Big) + f\Big(x + v(t-\theta)\Big) + b,$$

et, sous cette forme, b ne saurait jamais rien changer au mode de vibration.

Le cas d'un milieu entraîné par un courant correspond donc au premier des nos deux exemples. Bien que la durée de vibration des particules reste la même, la membrane du tympan vibrera, par l'effet du mouvement de l'oreille, d'une manière différente, ce qui aura pour résultat un changement du ton ou, respectivement, de la couleur.

En résumé, je ne vois aucune raison pour ne pas adopter la théorie de Doppler, comme une conséquence nécessaire de la doctrine universellement reçue des ondulations.

6. Nous passerons maintenant en revue les tentatives qui ont été faites pour soumettre cette théorie au contrôle de l'expérience.

Ces tentavives sont assez nombreuses pour ce qui regarde le son, mais beaucoup moins en ce qui concerne la lumière.

Pour le son, nous pouvons citer les expériences de MM. Buys-Ballot, Scot-Russell, E. Mach, Beetz et König; pour la lumière, celles de MM. Sestini, Angström et Vogel.

Les expériences de M. Buys-Ballot [1]) ont été exécutées en 1845, sur le chemin de fer d'Utrecht à Maarsen. Le trajet entre ces deux points était parcouru, alternativement dans les deux sens, par une locomotive, sur laquelle avaient pris place plusieurs musiciens, dont un sonnait de la trompette. Au bord de la voie, en trois stations différentes, étaient postés d'autres musiciens, chaque groupe comptant aussi un sonneur de trompette. Tantôt les musiciens établis sur l'accotement de la voie écoutaient le ton donné sur la locomotive, tantôt les personnes portées par le train s'appliquaient à saisir le ton émis aux stations. Les résultats sont répartis en

[1]) *Pogg. Annalen*, t. LXVI, p. 321.

7 groupes, dont chacun contient 12 observations, savoir, 6 pour le rapprochement, 6 pour la fuite.

Il a été réconnu, à chaque passage, que le ton arrivant était toujours plus haut, le ton partant toujours plus bas. L'intervalle était aussi, à peu de chose près, en accord avec les formules rapportées ci-dessus.

Ces expériences, faites avec le plus grand soin et avec un nombreux personnel (il y avait 14 personnes constamment occupées), sont une confirmation sérieuse et importante de la théorie de Doppler. A ce titre, elles ont toujours été l'ancre de salut à laquelle se raccrochaient les partisans de cette théorie, lorsque M. Petzval les serrait de trop près.

Au sujet des expériences de M. Russell, en Ecosse, je n'ai nulle part pu trouver des détails; elles paraissent toutefois avoir été de la même nature que celles dont il vient d'être question.

Il a aussi été fait des expériences avec locomotives en France, mais on s'y proposait uniquement de rechercher quels sont, parmi les tons émis sur un train, ceux que le bruit des wagons étouffe le plus facilement.

Les expériences de M. Mach [1]) sont d'un autre genre.

Outre quelques observations sur l'effet perçu au passage de balles de fusil perforées, observations que lui-même regarde comme incertaines, il a fait des expériences avec un appareil de son invention, et qui figure aussi sous le nom de „appareil de Mach" sur le catalogue de M. König, à Paris.

Il se compose d'une longue tige creuse, qui peut tourner rapidement autour de son milieu. Dans l'axe de rotation, qui est également creux, une soufflerie envoie de l'air, qui pénètre dans la cavité de la tige et s'écoule à l'extrémité, par une espèce d'anche, en produisant un ton.

Si maintenant, l'appareil étant en marche, on se place à une certaine distance dans le plan de la tige tournante, on entend à chaque révolution, suivant M. Mach, 2 battements; lorsqu'on se place sur le prolongement de l'axe, on n'entend au contraire qu'un son uniforme.

[1]) *Sitz. ber. der Wiener Acad.*, t. XLI, p. 543.

Cette expérience est facile à répéter sans appareil. On n'a qu'à prendre à la main un corps quelconque émettant un son, et à le faire tourner avec rapidité. On se convainc alors très bien qu'il ne se produit qu'une variation alternative de l'intensité du son, mais pas de battements véritables. Ceux-ci d'ailleurs ne pourraient être obtenus avec un seul corps sonore, puisque leur formation exige sans doute toujours deux tons émis simultanément.

A mon avis, l'expérience de M. Mach n'a donc aucune valeur pour la question en litige.

M. Beetz [1]) s'est aussi livré à des expériences analogues, où il employait des diapasons tournants. Il a remarqué que, dans ce cas, le changement de vibration était le résultat de la différence des positions que les bras du diapason prenaient pendant la rotation, différence combinée avec la constance du plan de vibration. Il explique donc les battements, qui du reste s'entendaient aussi quand on appliquait l'oreille aux parties fixes du tour, par des considérations analogues à celles qui rendent compte de l'expérience du pendule de Foucault.

Les expériences de M. Beetz ne touchent donc en rien la théorie qui nous occupe.

Il en est de même des expériences que M. König a mentionnées dans son catalogue. Il s'agit de deux diapasons, dont l'un (ut_4) fait 512 et l'autre 508 vibrations entières, et qui donnent par conséquent 4 battements par seconde. La longueur d'onde de ces tons, dans l'air, est d'environ 65 centimètres. Si donc on tient le diapason le plus aigu tout près d'une des oreilles, et le plus grave à 65 centimètres de l'autre, et qu'on fasse alors mouvoir ce dernier en 1 seconde jusqu'à l'oreille, un des 4 battements disparaîtra. J'ai souvent répété cette expérience, mais, tout comme plus haut, sans pouvoir constater autre chose qu'un renforcement ou un affaiblissement du son. J'ai aussi fait l'expérience avec deux diapasons à l'unisson ut_4, successivement à la distance de 65 et de 130 centimètres. A l'une comme à l'autre de ces distances, on n'entendait alors qu'un seul battement, bien que, dans le second

[1]) *Pogg. Annalen*, t. CXXVIII, p. 490.

cas, d'après la théorie, il aurait dû y en avoir deux. Si l'on tient un des diapasons devant l'oreille, tandis qu'un aide s'éloigne avec l'autre en courant, on entend de forts battements, mais toujours en nombre précisément égal à celui des pas faits sur le sol. Le bruit de ces pas occasionne un affaiblissement momentané du son.

Dans tous les cas analogues, que j'ai variés de bien des manières, les alternatives périodiques de force et de faiblesse du son ont une influence beaucoup plus grande que la petite variation de la hauteur du ton. Comme preuve surabondante, on peut encore citer le fait que, lorsqu'on ne tient pas l'un des diapasons devant l'oreille, c'est-à-dire lorsqu'on expérimente avec un seul instrument, les battements continuent à se faire entendre tout aussi distinctement.

L'examen des différentes recherches expérimentales, entreprises pour résoudre la question par rapport au son, nous conduit donc à conclure que les expériences de M. Buys Ballot sont les seules qui possèdent une valeur positive. Cette conclusion augmente sans doute l'intérêt qui s'attache à ces expériences, mais elle nous oblige aussi de les soumettre à une critique sévère et à une vérification soignée.

Cette critique, elles pourraient la soutenir avec éclat sur tous les points, si l'estimation de l'intervalle n'avait été rendue extrêmement difficile par le bruit de la locomotive, et si plusieurs des observateurs musiciens n'avaient prétendu, contrairement à la théorie, que le ton arrivant était seulement plus aigu un instant avant le passage, mais avait à une distance plus grande la même hauteur que le ton objectif.

Une confirmation du résultat obtenu paraissant ainsi très désirable, j'ai essayé, malgré les embarras et les difficultés qui entourent ces expériences, de les répéter, et cela en faisant usage de deux locomotives, qui passeraient l'une devant l'autre à toute vapeur. Grâce à l'obligeance de M. Verloop, ingénieur en chef du Chemin de fer rhénan, ces locomotives furent mises à ma disposition, mais seulement pour l'espace de trois quarts d'heure, après quoi la voie devait de nouveau rester libre pour le service.

J'eus en outre l'avantage d'obtenir le précieux concours de

plusieurs habiles musiciens, MM. R. Hol, Haak, Witte et quelques autres, parmi lesquels deux hautbois.

Mon plan était de faire jouer le sifflet d'une des locomotives tout le long du trajet, et d'en laisser apprécier le ton aussi bien par les observateurs qui se trouvaient sur ce même train, que par ceux qui occupaient l'autre train. La comparaison ultérieure devait alors m'affranchir de la variabilité de ton du sifflet, condition nécessaire pour que cet instrument énergique pût être employé à la place de la trompette.

Dans chaque train devaient prendre place 4 personnes, un hautbois pour donner des tons de comparaison fixes, deux musiciens pour observer la différence, et une personne chargée de déterminer la vitesse du train.

Deux expériences eurent effectivement lieu d'après ce programme, au jour qui nous avait été fixé. Malheureusement, il faisait ce jour-là un vent si effroyable, que la première fois le sifflet ne fut pas entendu du tout, et la seconde fois seulement à l'instant du passage. Néanmoins, il fut reconnu avec certitude que dans ce passage le son baissait de un ton et demi, variation qui correspond parfaitement à la vitesse de 15 mètres, que les deux locomotives possédaient à ce moment.

Il nous parut, toutefois, que le peu de temps qui restait après ces deux épreuves serait mieux employé si la moitié des observateurs se plaçaient au bord de la voie, pendant qu'une seule des locomotives continuerait à marcher, en sifflant sans interruption. Trois fois on put ainsi constater que, tandis que le sifflet ne faisait pas entendre aux observateurs du train un ton supérieur à mi_3, ceux postés sur la voie percevaient à l'approche du train un ton un peu plus élevé que le *fa* suivant; il y avait donc un intervalle d'un peu plus de ½ ton, en accord avec la vitesse de la marche à ce moment, savoir 14 mètres. Après le passage, le ton s'abaissait au-dessous de *mi*, mais d'une quantité qu'il fut impossible de déterminer exactement, à cause de la violence des rafales du vent.

Après ces trois passages, le temps convenu était écoulé, de sorte qu'il fallut cesser les expériences. Je compte toutefois les reprendre dès qu'il se présentera une occasion favorable.

Les observations dont il vient d'être question sont peu nombreuses; néanmoins, si l'on considère que les personnes qui y ont pris part, artistes connus, avaient acquis une grande sûreté de jugement dans l'appréciation des intervalles musicaux, et si l'on tient compte en outre du mode de contrôle, on ne pourra se refuser à regarder ces observations comme une confirmation réelle de celles de M. Buys-Ballot.

J'ai même trouvé confirmé un résultat qui plaide moins en faveur de la théorie, savoir, que c'est seulement à proximité que le ton arrivant possède un excès de hauteur, tandis qu'à une distance plus grande il est égal au ton objectif.

Je m'explique ce fait de la manière suivante. Dans des conditions aussi difficiles que celles ou se font ces expériences, il ne saurait être question d'estimer des intervalles plus petits qu'un demi-ton. A chaque observation on disait: ceci est le ton *mi*, *fa*, *ré*, mais jamais: ceci est un ton situé entre *mi* et *fa*, ni quelque chose d'analogue.

Pendant l'accroissement graduel de la vitesse, on ne percevait donc pas les variations successives du ton, mais on remarquait seulement la différence lorsque, par l'accélération du mouvement, le ton était monté de *mi* à *fa*. Il en résultait naturellement qu'on devait entendre d'abord pendant quelque temps *mi*, puis brusquement *fa*; et c'est effectivement ce qui eut lieu.

Si nous considérons maintenant les expériences qui ont été faites au sujet de la théorie de Doppler dans son application à la lumière, nous devrons écarter celles de M. Sestini et de M. Angström, comme n'ayant aucune valeur pour l'objet en question.

M. Sestini [1]) a exécuté des recherches très laborieuses, et sous d'autres rapports fort utiles, concernant la couleur des étoiles, et il a cru remarquer que les étoiles violettes se trouvent en plus grand nombre dans la région du ciel vers laquelle, suivant les astronomes, se dirige notre système solaire.

Mais ce fait ne prouve rien, parce que la conclusion qu'on

[1]) *Mem. sopr a i colori delle stelle del catalogo di Baily*, 1845.

veut en tirer part de l'idée inadmissible que, dans un monde stellaire en repos, toutes les étoiles auraient la même couleur. Cela a été montré si clairement par M. Buys-Ballot (*l. c.*), que le travail de M. Sestini perd tout intérêt pour nous.

M. Angström [1]) a calculé que dans l'étincelle électrique les particules incandescentes se meuvent, en sens opposé, avec une vitesse de 80—90 milles géographiques par seconde.

Il en a conclu que, si l'on observait au spectroscope une étincelle jaillissant obliquement, les raies brillantes produites par ces particules devaient se déplacer sensiblement dans le spectre, et cela suivant les deux directions opposées. On comprend aisément que M. Angström n'ait rien vu de semblable, attendu que, par suite de la succession rapide et continue des particules, il y en avait toujours de nouvelles à la place des précédentes, de sorte que le spectre restait le même.

Après le travail de MM. Kirchhoff et Bunsen, et le rapide développement des recherches spectroscopiques, on ne pouvait manquer de faire promptement la remarque que, si la théorie de Doppler est vraie, les raies produites par une substance donnée, dans le spectre d'une source lumineuse en mouvement, doivent se montrer à une autre place que celles de la même substance dans une source en repos.

A ma connaissance, cette remarque a été faite pour la première fois par M. Fizeau, en 1848, mais elle est restée sans application jusqu'en 1869, époque où M. Zöllner [2]) conçut la même idée, d'une façon indépendante, et en tira immédiatement des conséquences pratiques.

M. Zöllner a même imaginé pour cet objet un spectroscope spécial, aujourd'hui déjà bien connu, le „spectroscope à réversion", qui pour une même lumière donne deux spectres superposés, dans l'un desquels, à l'aide de la réflexion, les couleurs se succèdent précisément en sens inverse. Le changement de place d'une raie paraît donc doublé dans cet instrument.

[1]) *Vetensk. Akademie Handlingar*, 1853.

[2]) *Pogg. Annalen*, t. CXXXVIII, p. 32.

M. Zöllner a en outre appelé l'attention sur la circonstance que la rotation du Soleil fournit un excellent moyen pour mettre la théorie de Doppler à l'épreuve. Il est clair, en effet, que si on dirige le spectroscope d'abord sur les pôles du Soleil, et ensuite sur le bord de l'équateur, on devra, d'après cette théorie, ne pas observer de déplacement des raies dans le premier cas, mais bien dans le second.

Cette vue ingénieuse a conduit M. Vogel, directeur de l'observatoire de M. Bulow, à entreprendre des recherches, qui effectivement, en 1871, ont entièrement confirmé les prévisions de M. Zöllner. Du déplacement mesuré il a en outre déduit, pour la vitesse à l'équateur, une valeur qui s'accorde à peu près avec celle trouvée par une autre voie [1]).

Ces observations de M. Vogel ont, pour la théorie de la lumière, la même importance que celles de M. Buys-Ballot pour la théorie du son.

Arrivé à la fin de ma tâche, je résumerai en peu de mots les résultats obtenus:

1°. La théorie de Doppler est une conséquence nécessaire de la théorie des ondulations.

2°. Les objections théoriques qu'on y a faites ne tiennent pas devant un examen attentif.

3°. Les expériences et les observations la confirment d'une manière satisfaisante.

4°. Il convient de suivre la voie ouverte par MM. Zöllner, Huggins, Secchi et Lockyer, pour arriver, par l'observation du déplacement des raies spectrales, à la détermination du mouvement propre des étoiles.

---

[1]) *Sitz. ber. der K. Sachs. Gesellsch.*, 1871.

UTRECHT, 18 Septembre 1873.

Remarques additionnelles.

Quelque temps après que j'eus envoyé le travail qui précède à la Rédaction des *Archives néerlandaises*, je reçus communication, par une entremise bienveillante, du Mémoire longtemps attendu de M. van der Willigen sur le même sujet [1]).

Je dois dire que la première lecture me convertit presque entièrement, et que ma propre défense de la théorie de Doppler me parut insuffisante.

Les objections adressées à cette théorie par M. van der Willigen sont, en effet, tout autres que je ne me l'étais figuré d'après la Communication sommaire faite devant la Société des arts et des sciences d'Utrecht.

Dans le Mémoire en question, le reproche capital n'est plus, comme chez M. Petzval, que le mouvement progressif n'est pas également communiqué à l'éther; au contraire, l'hypothèse de Fresnel est admise sans difficulté.

Non, l'objection a une portée plus grande, elle est fondamentale. M. van der Willigen s'accorderait encore mieux avec l'explication élémentaire de Doppler lui-même qu'avec les développements plus savants de ses successeurs, — si, pour lui, la chose entière n'était pas tout simplement impossible.

La théorie, aussi bien que l'expérience, prouvent, dit-il, qu'une impulsion isolée, qui n'est pas soutenue par d'autres, parties du même centre, ne se communique *pas*, comme telle, aux molécules du milieu. Cette impulsion est déclarée *instable*, et une série de pareilles impulsions *instables* ne peuvent être conçues réunies en un même point, mais elles se dispersent, chacune à part, sous forme de courants, ou bien elles se désagrègent en vibrations,

---

[1]) *Over de onhoudbaarheid der stelling dat de breking der lichtstralen wordt gewijzigd door de beweging van lichtbron en prisma.* (*Versl. en Meded. der K. Akad. van Wetensch.* 2e sér., t. VII).

On trouvera plus loin la traduction française de ce Mémoire de M. van der Willigen. (Note de la Réd.)

dont les périodes ne sont dans aucun rapport avec la période de vibration de la source primaire.

Lors donc qu'on intègre une suite d'impulsions différentielles reçues par une certaine molécule d'éther, on fait une opération qui peut être praticable analytiquement, mais qui ne saurait jamais se réaliser dans la nature, à moins que toutes ces impulsions différentielles ne proviennent d'une seule et même source en repos. Tout le labeur des partisans de Doppler, pour établir sa théorie sur une base purement mathématique, est donc un véritable *nonsens*, et pourrait être comparé à l'addition de $3\frac{1}{4}$ pommes et $7\frac{1}{8}$ poires.

Indépendamment de cela, il a été commis, par M. Petzval, M. Klinkerfuss et autres, des erreurs de tout genre, qui à elles seules suffiraient pour faire rejeter leurs résultats.

Quant aux expériences, celles qui concernent le son n'ont rien de commun avec la question en litige. En mesure rhythmique, marquée par le ton de l'instrument, sont expulsés de grands volumes d'air. Portées par les vibrations, ces impulsions de condensation arrivent à l'oreille de l'observateur, où elles excitent d'une manière mécanique, par une action qui leur est exclusivement propre, des vibrations fixes, que le rhythme de l'émission rattache seul encore au ton fondamental de l'instrument. Il n'y a là rien qui ressemble à une onde raccourcie ou à une vibration raccourcie.

Pour ce qui regarde la lumière, les résultats expérimentaux qu'on invoque à l'appui de la théorie, savoir, ceux de M. Huggins, de M. Secchi et de M. Vogel, sont attribués simplement à des influences perturbatrices, telles que: l'aberration de sphéricité des lentilles, des défauts dans l'incidence des rayons sur le prisme, des changements de température, etc.

On le voit, de toute la théorie il ne reste qu'un tissu d'erreurs et d'absurdités. Allant plus loin encore que M. Petzval, M. van der Willigen renverse non-seulement les considérations théoriques, mais aussi les expériences, et ces dernières il les traite même le plus impitoyablement. Il n'est donc pas étonnant qu'après la lecture d'un pareil réquisitoire on se sente ébranlé dans sa conviction, au moins pour un instant. Car je dois ajouter qu'une

étude nouvelle et attentive ne m'a pas satisfait, et m'a ramené à l'opinion exprimée dans l'article qu'on a lu plus haut. Je serai donc forcé de contredire M. van der Willigen.

Cela, toutefois, n'est pas facile, car dans un passage il nous dit: „Puissent ces simples remarques contribuer à dissiper les illusions des partisans de Doppler, et à les détourner de renouveler sans cesse, toujours armés de ces mêmes expériences (celles de M. Buys-Ballot) leurs incursions sur le domaine de la catoptrique"; et à la fin de son Mémoire nous lisons: „A ceux qui s'appuieraient sur des considérations analytiques, je dirai d'avance que je ne suis pas disposé d'accepter une onde sans dépression et qu'un amas de pierres, même précédé d'un signe d'intégration, n'est pas encore un édifice."

Il ne nous reste donc guère de ressources, puisqu'on repousse dédaigneusement et les expériences et les considérations mathémathiques. Mais, n'insistons pas sur ce point; ce qui nous importe, ce n'est pas la forme que l'auteur a donnée à sa pensée, c'est le fond même de la question. Celle-ci a, en effet, un intérêt considérable, car, si la théorie de Doppler est vraie, elle pourra rendre plus tard, avec des moyens perfectionnés, d'inappréciables services à l'astronomie.

En premier lieu donc: Quelle théorie parle d'impulsions instables, qui se désagrègent en vibrations de périodes inconnues?

A ce qu'il me semble, tout le premier paragraphe du Mémoire est consacré à l'exposition d'une idée toute nouvelle concernant la propagation des vibrations, idée qu'on ne rencontre dans aucune théorie antérieure, et qui certainement n'est pas confirmée par l'expérience.

A cette idée nouvelle s'applique exactement l'observation que M. van der Willigen adresse aux partisans de Doppler: „Non, je ne crois pas qu'on puisse .... donner d'un phénomène aisément explicable une interprétation arbitraire, ériger ensuite celle-ci en loi naturelle inattaquable, etc."

Lorsque M. Petzval posa son „principe de la conservation de la durée de vibration", il eut la bonté d'en donner en même temps une démonstration en règle.

M. van der Willigen parle à chaque instant de l'impossibilité qu'une molécule isolée, dans un état de vibration fixe (?), puisse transmettre intégralement sa vibration au milieu lorsqu'elle est en mouvement; mais toujours il néglige d'appuyer son assertion des preuves nécessaires.

Si la théorie et l'expérience établissent le fait avec tant de clarté, pourquoi alors ne pas rendre claire pour tout le monde une notion si caractéristique ?

Il est très possible que la théorie de M. van der Willigen soit, avec le temps, reconnue exacte; mais je constate que, dans le Mémoire où il l'expose, on en cherche en vain une apparence de démonstration.

Nous pouvons donc nous contenter d'examiner les objections que M. van der Willigen fait aux vues des partisans de Doppler.

Un assez grand nombre de ces objections ont également été présentées dans mon propre travail. Il n'est donc pas nécessaire de les passer ici toutes en revue.

Ce que j'ai soutenu, et ce que je soutiens encore, revient à ceci:

Si l'on suppose que le mouvement progressif de la source lumineuse ne se communique *pas* à l'éther, alors, comme l'a montré M. Petzval, la durée de vibration des molécules de l'éther est bien réellement changée, de la manière qui avait été admise par Doppler sur des fondements moins exacts.

Comme d'ailleurs, suivant Cauchy, la déflexion produite par un prisme dépend de cette durée de vibration, un rayon lumineux émanant d'une source en mouvement sera aussi réfracté autrement qu'un rayon originaire d'une source en repos.

Mais M. van der Willigen a découvert une erreur dans le raisonnement de M. Petzval, et l'importance qu'il y attache se laisse voir à la fin de son Mémoire, où il est fait encore une fois allusion à cette onde sans dépression, que M. Petzval aurait introduite clandestinement.

M. van der Willigen dit, en effet: „M. Petzval admet que $f\ (u)$ et $F\ (u)$ s'annulent chacune séparément, aussitôt que u prend une valeur sensible, positive ou négative; or cet état initial

l'autorise seulement à admettre une pareille annulation pour la somme $f(u) + F(u)$. Il fait de ce déplacement une onde sans dépression".

Ce n'est, toutefois, pas M. Petzval qui se trompe ici, mais M. van der Willigen.

M. Petzval avait bien certainement raison de faire chacune de ces fonctions séparément égale à zéro, car cela doit être ainsi.

L'équation en question,

$$\xi = f(x - st) + F(x + st),$$

provient, en effet, de l'équation aux différentielles partielles connue

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = s^2 \frac{d^2\varphi}{dx^2},$$

où φ est une fonction dont la dérivée par rapport à x représente la vitesse, et celle par rapport à t la condensation.

En représentant donc par $\psi(x)$ la vitesse, et par $\chi(x)$ la condensation initiale, on doit avoir, pour $t = 0$,

$$\frac{d\varphi}{dx} = \psi(x) \text{ et } \frac{d\varphi}{dt} = -s^2 \chi(x)$$

Mais, en dehors des limites $-\varepsilon$ et $+\varepsilon$ pour x, il n'y a au commencement ni vitesse, *ni* condensation; par conséquent, en dehors de ces limites, $\psi(x)$ et $\chi(x)$ doivent être nulles chacune séparément, et par suite, aussi chacune séparément,

$$f(u) = 0 \text{ et } F(u) = 0.$$

(Voir, à ce sujet: Duhamel, *Cours de Mécanique*, t. II, p. 318).

Le raisonnement de M. Petzval me semble donc inattaquable sous ce rapport. Il n'est pas atteint non plus par l'observation de MM. Klinkerfuss et Ketteler.

Ceux-ci disent: l'équation finale de M. Petzval est:

$$\xi = \frac{C}{s-c} \sin \frac{k}{s-c}(st - x) - \frac{C}{s+c} \sin \frac{k}{s+c}(st + x),$$

et en y faisant $x = 0$, elle devient

$$\xi = \frac{C}{s-c} \sin \frac{kst}{s-c} - \frac{C}{s+c} \sin \frac{kst}{s-c},$$

c'est-à-dire, tout autre chose que le déplacement de la particule primaire.

Mais ils oublient que lorsque, dans l'expression

$$\sin \frac{k(u - x + st)}{s - c},$$

M. Petzval omet u, cela ne peut avoir lieu que pour des valeurs de $x > \varepsilon$ ou $-\varepsilon$.

Quant à l'onde sans dépression, le reproche ne serait justifié que si M. Petzval avait pris $\int f(u)\, du$ entre les limites $+\varepsilon$ et 0, au lieu de $+\varepsilon$ et $-\varepsilon$.

D'ailleurs, quand même il aurait procédé ainsi, quelle différence notable en serait-il résulté? Aucune, car cette intégrale détermine seulement la constante C.

Jusqu'à nouvel ordre, je continue donc à regarder le calcul de M. Petzval comme la vraie base de la théorie de Doppler.

Mais, dit M. van der Willigen, ce calcul vous laisse dans l'embarras aussitôt que la direction dans laquelle la source se meut ne passe pas par l'observateur.

Ceci, toutefois, demande à être examiné.

Il faut alors opérer dans l'espace, et on a l'équation

$$\frac{d^2\varphi}{dt} = a^2 \left(\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{d^2\varphi}{dy^2} + \frac{d^2\varphi}{dz^2}\right).$$

Introduisons-y, comme nouvelle variable,

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2},$$

on obtient facilement

$$\frac{d^2(r\varphi)}{dt^2} = a^2 \frac{d^2(r\varphi)}{dr^2},$$

d'où résulte

$$\varphi = \frac{f(r + at) + f'(r - at)}{r}.$$

La composante de la vitesse, suivant la direction de x, est alors

$$u = \frac{x}{r^2} \left\{ f_{,} (r + at) + f_{,}' (r - at) \right\} - \frac{x}{r^3} \left\{ f (r + at) + f' (r - at) \right\}$$

et le déplacement ξ, dans la même direction,

$$\xi = \int u dt = \frac{x}{ar^2} \left\{ f (r + at - f' (r - at) \right\} - \frac{x}{ar^3} \left\{ F(r + at) - F'(r - at) \right\}$$

où

$f_{,}$ et $f_{,}'$ sont les dérivées de f et f'
F et $F_{,}'$ les intégrales de f et f'.

En conformité complète avec le résultat obtenu par M. Petzval, le déplacement total suivant x est maintenant:

$$X = \int_0^t \frac{x - c_1 \theta}{a (r - c_4 \theta)^2} \Big[f\big(r - c_4 \theta + a (t - \theta)\big) \sin k \theta \, d\theta$$
$$- f' \big(r - c_4 \theta - a (t - \theta)\big) \sin k \theta \, d\theta \Big]$$
$$- \int_0^t \frac{x - c_1 \theta}{a (r - c_4 \theta)^3} \Big[F \big(r - c_4 \theta + a (t - \theta)\big) \sin k \theta \, d\theta -$$
$$- F' \big(r - c_4 \theta - a (t - \theta)\big) \sin k \theta \, d\theta \Big]$$

où c_1 et c_4 sont les composantes suivant x et r de la vitesse du mouvement de la source.

Ici se fait valoir réellement l'objection de M. van der Willigen. Comme, dans l'expression de X, entrent aussi les expressions $\frac{x - c_1 \theta}{r - c_4 \theta}$, etc., sa valeur ne changera pas d'une manière périodique.

En outre, composée avec les expressions de Y et Z, qui renfermeront aussi des termes analogues, elle donnera chaque fois une autre résultante.

Il semble donc, effectivement, que dans ce cas il ne soit pas permis d'intégrer. Mais, si l'on fait attention au dénominateur et à la faible valeur de $\frac{c_1}{a}$ et de $\frac{c_4}{a}$, on poura sans doute négliger

$\frac{c_1}{a^2}$ etc., et alors l'expression devient, en opérant comme M. Petzval:

$$X = Px \sin \frac{k(st - r)}{s - c_4} + Qx \sin \frac{k(st + r)}{s + c_4}.$$

Des formes analogues seront trouvées pour Y et Z, et par conséquent le déplacement réel sera:

$$V = Pr \sin \frac{k(st - r)}{s - c_4} + Qr \sin \frac{k(st + r)}{s + c_4};$$

où
$$P = -\frac{C}{s^2 (r - c_4 t)^2} + \frac{C'}{s^3 (r_{,} - c_4 t)^3}$$

et
$$Q = -\frac{C_{,}}{s^2 (r - c_4 t)^2} + \frac{C_{,}'}{s^3 (r - c_4 t)^3}.$$

L'influence du mouvement de la source lumineuse provient donc uniquement de la composante de la vitesse de la source suivant la droite qui joint l'origine à l'observateur.

Dans l'exposé qui précède, nous avons laissé l'origine se déplacer avec la particule lumineuse, de telle sorte que les plans des coordonnées restent parallèles à leurs positions antérieures.

La direction de vibration change donc lentement, mais cela ne constituerait une difficulté que si la source avait opéré un déplacement sensible dans l'intervalle d'une seule vibration.

Or, si nous mettons le nombre des vibrations à 500 billions par seconde, et la vitesse de la source lumineuse à 35000 mètres, elle parcourra seulement, en $\frac{1}{500.10^{12}}$ de seconde,

$$\frac{1}{7,000,000} \text{ mm.},$$

c'est-à-dire un chemin encore au moins 4000 fois plus petit que la longueur d'onde de D.

Dans les développements donnés plus haut, je le répète, on n'a pas négligé, comme le fait croire M. van der Willigen, le carré de la vitesse de la source lumineuse en regard de la première puissance de celle de la lumière, mais seulement les expressions

$$\frac{c_1}{a^2}, \frac{c_4}{a^2}, \left(\frac{c_4}{a}\right)^2, \text{ etc.}$$

Je ne vois donc pas pourquoi la formule (pour V) ne représenterait pas ce qui a réellement lieu dans le cas considéré.

La durée de vibration ainsi obtenue s'accorde en outre exactement avec celle que M. Ketteler [1]) a trouvée par une voie toute différente.

M. van der Willigen voudrait savoir en quel point, lorsque la source se meut dans une direction oblique, nous devons proprement nous la représenter.

Il me semble, en aucun point spécial, mais en des points différents, tout juste comme se fait le mouvement.

Peu importe d'ailleurs, pourvu seulement que toutes les impulsions différentielles se soutiennent convenablement les unes les autres. Or cela est effectivement le cas, ainsi qu'il résulte de la nature même de l'équation (pour V), qui prend une forme périodique pure, à la seule condition que la vitesse de la source lumineuse n'atteigne pas une valeur trop considérable, et que l'observateur n'en soit pas trop rapproché. On ne tombe dans des difficultés que si l'on veut admettre, avec M. van der Willigen, que la vibration doit retourner vers la source. Alors, dans l'entre-temps, la source s'est déplacée, et la vibration ne pourrait plus savoir, à moins que ce ne fût par instinct, vers où se diriger.

Cette objection contre le mouvement oblique, M. van der Willigen se l'est réellement créée lui-même.

A la page 50 de son Mémoire, je lis „qu'il n'est pas permis de faire concourir des surfaces d'onde dont les normales ont des directions différentes."

La question de savoir si cela est permis ou non, doit être tranchée par le calcul, et on a trouvé ainsi que la chose peut très bien se faire.

En outre, immédiatement après, M. van der Willigen convient que dans les interférences et dans l'application du principe de Huyghens on emploie *effectivement* des surfaces d'ondes à normales différentes; mais il éclaircit ce point en disant: oui, mais alors on reçoit

[1]) Dr. E. Ketteler, *Astronomische Undulations-théorie*, Bonn. P. Neusser, 1873, p. 141.

l'image sur un écran, et on l'observe dans la lumière diffuse.

J'en conclus que M. van der Willigen ne ferait pas difficulté de reconnaître que, si l'on parvenait à rendre visible sur un écran le spectre de Sirius, et dans ce spectre la raie F de l'hydrogène, cette raie ne coïnciderait réellement plus avec sa position ordinaire.

Mais alors, la théorie de Doppler n'est donc pas encore si déraisonnable!

J'arrive enfin à une objection capitale de M. van der Willigen, savoir, l'absorption. Nous nous trouvons ici sur un terrain peu exploré et difficile, et ce ne peut être qu'une ironie de la part de M. van der Willigen, lorsqu'il met les partisans de Doppler en demeure de nous donner une notion bien claire de l'action absorbante.

Quoi qu'il en soit, on ne peut pas se représenter l'absorption sans admettre une action des molécules de la vapeur sur les particules de l'éther, et est-il alors si étrange de croire que pendant le mouvement de ces molécules l'action soit autre que dans l'état de repos?

En tout cas, pour une direction oblique de la source, les choses ne se passeront pas autrement que lorsque la source marche droit vers l'observateur, attendu qu'on n'aura toujours affaire qu'à la composante de la vitesse prise suivant la direction de l'observateur.

Pourquoi on traite de *singulière* la conclusion que, dans cette hypothèse, la lumière de la vapeur de sodium incandescente serait transmise par la vapeur de sodium refroidie et en mouvement, c'est ce que je ne comprends pas. Cette vapeur refroidie ne peut pourtant pas savoir que les rayons en question proviennent de sa sœur plus chaude, et que c'est par conséquent son devoir de les arrêter! Non, cette vapeur absorbe tous les rayons pour l'extinction desquels elle présente les conditions nécessaires, quelle que soit d'ailleurs l'origine de ces rayons.

Quant à la nature de ces conditions, elle est encore totalement inconnue; il n'y a donc pas à en raisonner. Des expériences seules pourront ici prononcer, expériences analogues à celles

de M. Klinkerfuss [1]) sur la vapeur de brome, mais qui devront être encore plus délicates.

Il ne faut pas oublier, en outre, que tout ce que nous savons de l'absorption a été obtenu par des expériences faites dans les conditions mêmes dont il s'agit ici, savoir, dans l'atmosphère en mouvement de la Terre.

En résumant brièvement tout ce qui précède, je conclus ainsi:

Je n'ai aucune raison spéciale de repousser la théorie de M. van der Willigen, mais, jusqu'à présent, elle est entièrement dénuée de preuves.

Aux développements de M. Petzval, rappelés ci-dessus, M. van der Willigen, M. Klinkerfuss et M. Ketteler n'ont opposé que des considérations inexactes. La démonstration de la théorie de Doppler, telle qu'elle résulte de ces développements, demeure donc tout à fait intacte, et, étendue au cas de la direction oblique de la source lumineuse, elle donne encore des résultats acceptables. Des autres objections de M. van der Willigen, aucune ne soutient l'examen, sauf peut-être celle qui concerne l'absorption, phénomène dont personne ne connaît encore le fin mot.

Aucune raison ne nous oblige donc jusqu' ici à abandonner la théorie de Doppler; il y a, au contraire, des motifs suffisants pour la maintenir encore debout.

Examinons maintenant les critiques que M. van der Willigen adresse aux expériences, et en premier lieu celles qui concernent les expériences avec locomotives.

Plus haut, j'ai tâché de montrer que ces expériences sont les seules qui aient une valeur incontestable. M. van der Willigen, toutefois, les récuse formellement, pour les raisons que j'ai déjà exposées. Ce ne sont pas, selon lui, des tons qui parviennent à l'oreille, mais des volumes d'air expulsés, qui produisent dans le milieu atmosphérique des condensations et des dilatations, ne se rattachant que par un faible lien au ton fondamental de l'instru-

[1]) *Gött. Nachr.*, 1870, p. 226.

ment. Pourtant, un peu plus haut, il est dit que ces condensations et ces dilatations progressent selon un rhythme marqué par le ton de l'instrument. Leur période sera donc apparemment encore la même que celle du ton fondamental. Mais alors ce n'est autre chose que l'onde courante ordinaire, que tout le monde admet et dans laquelle chaque particule d'air vibre d'une manière spéciale. Si donc la durée de cette vibration n'est pas changée, le ton entendu ne sera sans doute pas changé non plus.

Qu'on lise le § VI, N°. 24, du Mémoire de M. van der Willigen, et on reconnaîtra avec moi qu'il est impossible de saisir en quoi ces impulsions de condensation et de dilatation différeraient des condensations et des dilatations ordinairement admises.

Si le raisonnement de M. van der Willigen avait quelque fondement, il en résulterait que lorsqu'on se trouve droit devant l'ouverture de l'instrument à vent, on devrait entendre un autre ton que lorsqu'on est placé dans une direction oblique.

Non, des arguments pareils ne suffisent pas pour enlever d'un coup toute importance aux expériences de M. Buys-Ballot.

En passant à la critique à laquelle M. van der Willigen a soumis les observations de déplacement des raies spectrales, nous nous trouvons subitement transportés sur un terrain plus solide et plus agréable.

Cette critique est au-dessus de mes éloges, et donnera certainement à réfléchir aux spectroscopistes.

Différentes sources d'erreur y sont successivement signalées avec une admirable sagacité, et l'auteur nous montre comment le rapprochement ou l'éloignement des étoiles, le singulier élargissement de la raie F dans les taches solaires, etc. peuvent facilement s'expliquer à l'aide de ces erreurs.

Lorsqu'on a lu avec attention le § 12 du Mémoire, on ne sait vraiment plus ce qui reste de toutes ces belles découvertes.

Peu de chose, ce me semble.

Si l'on ne tient pas compte de toutes les circonstances indiquées par M. van der Willigen, et qu'on ne détermine pas d'avance,

à la manière des astronomes, l'influence qu'elles peuvent avoir, les résultats n'ont aucune valeur.

Sur un point je ne me trouve ici pas d'accord avec M. van der Willigen, savoir, au sujet de l'importance du spectroscope à réversion de M. Zöllner.

Le principe sur lequel cet instrument est fondé a déjà rendu de si bons services dans l'héliomètre et l'opthalmomètre, que très certainement il montrera aussi, plus tard, la même valeur dans sa nouvelle application. Jusqu'à présent, je dois le reconnaître, l'instrument n'a pas encore fourni grand'chose.

Je ferai remarquer, toutefois, que le déplacement des raies dans le spectre des bords du Soleil, s'il n'a pas été mesuré, a au moins été vu à différentes reprises au moyen de cet instrument; et c'est une circonstance assez importante, que ces observations concernent le déplacement de la raie *D*, qui est beaucoup moins réfrangible que la raie F.

A cette observation de M. Vogel, les remarques de M. van der Willigen, touchant l'influenee de la température, ne paraissent guère applicables.

Dans les *Archives du Musée Teyler*, vol. I, table IV, p. 230, je vois que, pour la déviation de la raie *D*, M. van der Willigen a trouvé, avec le prisme Merz N°. II, les valeurs suivantes:

à 18°,5 C. . . . . 62°,8′30″,1

et à 12°,7 C. . . . . 62°,8′30″,5.

En considérant que M. van der Willigen n'obtenait la seconde entière que par *estime*, on peut bien négliger une différence de 0″,4, et dire que pour un changement de température de 4°,2 la déviation n'a pas varié d'une manière appréciable.

Or, comme personne ne pensera qu'un aussi notable changement de température puisse avoir lieu dans le temps assez court que le Soleil met à passer devant l'instrument, l'observation faite avec le spectroscope à réversion, par M. Vogel, serait tout en faveur de la théorie de Doppler.

Finalement, je ne dois pas omettre de mentionner les belles expériences qui ont été faites par M. Mayer [1]), avec des diapasons à l'unisson.

Lorsque deux pareils diapasons sont placés sur leurs caisses de résonnance, les vibrations de l'un se communiquent à l'autre à de grandes distances.

Mais cela n'a pas lieu, si l'on se met à courir avec le diapason vibrant, en le posant seulement sur la caisse après qu'on a commencé de courir et en l'enlevant aussi avant de s'arrêter.

Prend-on au contraire un diapason faisant deux vibrations de moins que l'autre, et le porte-t-on vers celui-ci avec une rapidité suffisante, en observant les prescriptions indiquées, alors le ton remonte de deux vibrations, et le second diapason se met à résonner.

J'ai répété ces deux expériences avec des diapasons à 512 vibrations, de M. König, de Paris. Ces instruments, placés à une grande distance, par exemple, à 12 mètres, résonnaient fortement. Mais si l'on cherchait à produire cette résonnance tout en courant avec l'un des diapasons vers l'autre, on n'y parvenait pas.

Il est intéressant de voir comment, dans ces expériences, chaque faute d'exécution se trahit immédiatement par une résonnance bien distincte.

Soit qu'on applique le diapason sur la caisse avant de s'être mis en mouvement, soit qu'on s'arrête un instant en chemin, soit que, à la fin de la course, on sépare trop tard le diapason de la caisse, toujours la résonnançe de l'autre diapason avertit sans retard de l'erreur commise.

La méthode optique de M. Mayer m'a paru beaucoup moins sensible que celle qui fait simplement appel à l'ouïe.

Ces expériences me semblent venir entièrement à l'appui de la théorie de Doppler, et je suis curieux de voir quelles objections elles soulèveront de la part de M. van der Willigen.

---

[1]) *Phil. Mag.*, avril 1873.

SUR LA

FAUSSETÉ DE LA PROPOSITION

QUE LA

RÉFRACTION DES RAYONS LUMINEUX EST MODIFIÉE PAR LE MOUVEMENT DE LA SOURCE LUMINEUSE ET DU PRISME,

PAR

V. S. M. VAN DER WILLIGEN [1]).

---

§ I.

1. Une impulsion, un choc, ou quel que soit le nom qu'on veuille lui donner, — celui de déplacement moléculaire, par exemple, — n'est jamais propagée comme telle dans un milieu absolument élastique et indéfini.

Comme résultat ou bien comme partie intégrante d'une vibration qui, partant d'un centre fixe et se transmettant dans toutes les directions au sein du milieu supposé en repos, est exécutée successivement par les molécules de ce milieu, uné pareille impulsion tombe très certainement sous la loi générale qui règle la propagation de cette vibration.

D'un autre côté, l'observation et la théorie indiquent toutes les deux que, lorsqu'une impulsion ou un déplacement moléculaire est communiquée à un point quelconque du milieu, il en résulte des vibrations, dont la période et l'amplitude sont fréquemment bien au-dessus de la portée de nos ressources expérimentales ou

---

[1]) Extrait de Archives Musée Teyler, vol. III, fasc. 4.

théoriques. Chacune de ces vibrations se propage, à partir du point ébranlé comme centre, dans toutes les directions. La force vive qui avait été communiquée s'est alors épanchée dans ces vibrations, et on ne peut plus se la représenter de nouveau comme réunie sous la forme d'une impulsion ou d'un déplacement intégral.

Comment, de quelle manière, ces vibrations prennent naissance dans un milieu indéfini, voilà ce qu'il n'est pas facile de dire. Il est probable que leur formation doit être attribuée à ce que l'impulsion, lorsque, immédiatement après avoir passé du centre aux molécules circonvoisines, elle abandonne de nouveau celles-ci, non-seulement se propage à l'extérieur, mais revient aussi en partie vers le point de départ, pour retourner ensuite au dehors, et continuer de la sorte jusqu'à ce que la fraction de la force vive qui revient au centre soit finalement devenue égale à zéro. Nous obtenons ainsi autour du centre un va-et-vient de quantités toujours plus petites de force vive, va-et-vient qui cesse par épuisement et qui peut très bien aboutir à une vibration des molécules, transmettant l'impulsion à des points de plus en plus éloignés de l'origine.

2. Partout où une pareille impulsion est exercée sur l'air ou sur l'eau, se trouvent d'ailleurs les conditions nécessaires à la production d'une vibration à nœuds et à ventres fixes. Les vibrations spontanées qui s'établissent sont donc indubitablement des vibrations fixes des premières molécules du milieu, qui ensuite se propagent au loin. — La transmission régulière de la vibration, d'une source proprement dite, animée de vibrations fixes, au milieu ambiant, l'un et l'autre supposés en repos, me paraît devenir plus intelligible par ce qui précède. En effet, lorsque la première impulsion moléculaire, émanée du centre et répartie sur une première surface sphérique, opère immédiatement après un retour partiel vers le centre, elle y trouve déjà une seconde impulsion, avec laquelle elle est de nouveau chassée au dehors en accord rhythmique. De cette manière, une première impulsion est réglée et soutenue par la suivante. Par la répétition continuelle

de la même action, s'appliquant au nombre infini des impulsions différentielles dans lesquelles on peut diviser par la pensée une vibration de la molécule primitivement ébranlée, la force vive qui réside dans celle-ci est transmise, sous la forme de vibration courante de la même période, au milieu ambiant; la propagation a naturellement lieu suivant des surfaces sphériques.

A ce point de vue, je regarderais volontiers une impulsion unique et indépendante comme instable, comparée à la série infinie de pareilles impulsions qui, partant successivement d'un même centre, où elles sont communiquées par une source de vibrations fixes, se soutiennent mutuellement et forment une vibration entière.

3. Si cette source de vibrations fixes est en mouvement par rapport au milieu, et si en outre elle est d'assez petites dimensions pour qu'une première impulsion ne soit plus suivie d'une seconde, partie du même point du milieu, et ainsi de suite, alors toutes ces impulsions différentielles, qui sont communiquées au milieu ambiant par une seule vibration fixe, doivent être regardées comme autant d'impulsions instables, qui se perdent en courants isolés, ou s'éparpillent en vibrations dont les périodes n'ont aucune relation avec la période de vibration de la source primaire.

La source de vibrations, — que nous nous représentons comme une réunion de molécules qui exécutent des vibrations isochrones dans des orbites semblables, et qui en outre se trouvent toujours toutes dans la même phase, — a-t-elle au contraire des dimensions telles que, nonobstant son mouvement progressif, les impulsions élémentaires en nombre infini puissent encore être regardées, pour au moins une vibration entière, comme partant d'un même point du milieu, parce que chaque molécule de la source, à mesure qu'elle avance, est immédiatement remplacée par une autre à vibration identique; ou bien, d'une manière encore plus générale, la molécule du milieu, qui est située en ce point, reste-t-elle pendant une vibration entière sous l'influence directe de la source, — dans ce cas, la transmission de la vibration, de la source au milieu ambiant, continue à s'opérer d'une façon régulière, peut-être avec

changement de l'amplitude, mais très certainement sans altération de la période.

On le voit: d'après cette manière de considérer les choses, il n'y a pas place ici pour la transmission de la vibration primaire avec une période raccourcie ou allongée suivant l'une ou l'autre règle; et cela pour la raison très simple que, lorsque le mouvement relatif de la source est trop grand par rapport à ses dimensions ou au rayon de sa sphère d'action directe, elle cesse aussi de pouvoir imposer une période assignable d'avance aux vibrations spontanées qui pourraient naître des pulsations ou déplacements différentiels successifs.

Plus clairement encore: pour avoir un raccourcissement ou un allongement de la période, qui fût d'accord avec les idées émises, comme nous allons le voir, concernant une accélération ou un retard de la poussée de l'onde, il faudrait pouvoir admettre que chaque pulsation élémentaire émanée de la source vibratoire déplacée, en tant qu'elle se rapporte á ce point de départ et y retourne, cherche maintenant comme par instinct à se diriger, non vers le point de départ effectif, mais vers un autre point dans lequel la source primaire se trouve transportée au moment où elle émet l'impulsion suivante; or ceci serait par trop arbitraire. En conséquence, si la vibration de la source primaire ne peut être transmise au milieu ambiant d'une manière intégrale, avec sa période propre, elle ne peut pas être transmise du tout; elle se dissipera alors probablement en vibrations courantes, dont le résultat final échappe complétement au pouvoir de l'analyse, au moins dans son état actuel.

§ II.

4. Les considérations qui précèdent seront acceptées, je crois, par tous ceux qui chercheront á se faire une idée nette de la manière dont s'opère la transmission d'une vibration fixe au milieu ambiant; aussi longtemps que ce milieu reste homogène et indéfini, il n'y a, ce me semble, rien á en rabattre. J'ai jugé utile d'appeler l'attention sur ce point de vue, qui est peut-être propre

à épargner des déceptions et à empêcher la science de s'engager dans une voie fausse.

En ce qui concerne l'influence du mouvement du prisme sur la direction du rayon réfracté, je puis me borner à rappeler qu'Arago a démontré par l'expérience, il y a longtemps, qu'un effet de ce genre n'existe pas, et que Fresnel [1]) a donné l'explication théorique de ce résultat négatif, en montrant que l'influence du mouvement sur la direction du rayon réfracté est compensée par un changement de la valeur de l'aberration. Personne, jusqu'ici, n'a fourni la preuve expérimentale que cette résultante du changement de la réfraction et du changement de l'aberration n'est pas égale à zéro. Par contre, M. Fizeau [2]) a fait voir que dans le mouvement de l'eau, tel qu'il l'a soumis à ses expériences, l'hypothèse d'où Fresnel était parti se vérifie également; et d'un autre côté, on sait que la supposition de l'éther laissé en repos dans l'espace est seule en état, jusqu'à présent, de donner une explication satisfaisante, dans la théorie des ondulations, du phénomène de l'aberration des étoiles. On peut conclure de là, réciproquement, que ce serait une recherche mal fondée de vouloir déterminer l'influence du mouvement du prisme sur la direction du rayon lumineux, et que ce serait une tentative encore beaucoup moins motivée, et même un véritable recul de la science, d'admettre aujourd'hui une pareille influence pour l'explication partielle d'un déplacement des raies du spectre.

L'hypothèse de Fresnel, dont la fécondité a été constatée, indique donc aussi à quel point de vue doit être considérée l'influence du mouvement de la source lumineuse sur la réfraction. Suivant cette hypothèse bien connue, l'éther qui propage les vibrations lumineuses est en repos dans l'espace illimité; les corps matériels n'entraînent dans leur mouvement que la partie de l'éther inclus qui forme l'excès de densité de cet éther sur celui de l'espace.

5. Un milieu indéfini, restant en repos malgré le déplacement

---

[1]) *Annales de Chimie et de Physique*, t. IX, p. 56 et 286. 1818.

[2]) *Comptes rendus*, t. XXXIII, p. 349. 1851.

des corps qui y sont plongés, et doué de la propriété additionnelle admise par Fresnel, nous tire donc facilement d'affaire quant à l'influence du mouvement du prisme sur la direction du rayon; mais, si l'on se rapporte à ce qui a été dit plus haut, il rend plus compliquée l'étude de la transmission de la vibration entre la source en mouvement et le milieu ambiant. Néanmoins, avec ce point de départ du milieu en repos, on arrive encore sans trop de peine, comme on le verra plus loin, à la conclusion que le mouvement de la source est également sans influence sur la réfraction. Cela n'implique pas, toutefois, que, si au contraire l'éther ambiant était bien entraîné dans le mouvement, la direction du rayon réfracté devrait être aussitôt regardée comme dépendant à la fois du déplacement du prisme et de celui de la source. Quant au prisme, du moins si lui et le milieu ambiant se meuvent avec des vitesses parfaitement égales, il ne saurait être question d'une altération apportée par ce mouvement à la direction du rayon réfracté. Et pour ce qui concerne la source, M. Petzval a très bien reconnu, dans les Mémoires dont nous parlerons plus loin, que l'entraînement complet du milieu ambiant par la source devait donner le coup de mort à toute théorie qui là, près de la source, exigeait une modification de la durée de vibration ou de la longueur d'onde de la vibration propagée.

D'ailleurs, quand même les corps en mouvement entraîneraient entièrement l'éther ambiant, il y aurait bien, sur la distance immense qui sépare par exemple la terre du soleil, quelque point intermédiaire où cet éther, tout à fait insensible aux deux mouvements, resterait en repos complet; et ainsi, dans l'hypothèse de l'entraînement, la question serait au fond transportée à un autre point de l'espace, où sa solution présenterait, il est vrai, d'après ce que nous pouvons maintenant pressentir, de plus grandes difficultés, mais sans être pour cela absolument désespérée.

Dans l'état actuel de la science, toutefois, le passage de la vibration d'une source en mouvement à un éther en repos, ou d'un éther en repos dans une matière réfringente en mouvement, est encore la seule question à l'ordre du jour.

Le point de vue auquel je considère l'influence du mouvement de la source lumineuse et du prisme sur la direction du rayon réfracté se trouve maintenant, je pense, assez bien caractérisé. Je laisse de côté la conception secondaire d'onde, et beaucoup plus encore celle de poussée de l'onde; je m'en tiens à la notion fondamentale de vibration courante, qui seule possède de la réalité dans la nature des choses, et dont l'onde ou la poussée de l'onde ne sont qu'un résultat.

Si, dans ce qui va suivre, je montre quelque sévérité pour les observations de savants distingués, je n'y suis poussé que par l'intérêt de la science, et par la pleine conviction qu'il faut chercher dans ces observations elles-mêmes la cause des déplacements trouvés dans le spectre. Je crois être, d'ailleurs, d'autant mieux justifié sous ce rapport, que jamais non plus je n'ai épargné mes propres observations.

§ III.

6. En 1842, Chr. Doppler [1]) avança sommairement que, par le mouvement relatif de la source vibratoire primaire et de l'observateur, la couleur de la lumière observée ou la hauteur du son perçu est modifiée suivant une loi très simple. Il prend le rayon lumineux ou sonore qui coïncide avec la direction du mouvement et il le distrait de la sphère entière à laquelle il appartient, sans tenir compte de la relation nécessaire qui existe entre ce rayon et le nombre infini des autres rayons qui partent avec lui du même point dans toutes les directions. Ce rayon, le seul qu'il considère, est pour lui une ligne droite, suivant laquelle le son ou la lumière se propagent en autant d'ondes ou de poussées jusqu'à l'observateur, lui-même en mouvement (se figurer un navire qui fend une eau onduleuse); et parce que la source vibratoire ou l'observateur se meuvent maintenant juste dans la direction de ce rayon, la vitesse avec laquelle les ondes courent vers l'observateur est augmentée ou diminuée de la vitesse relative de celui-ci par rapport à la source.

---

[1]) *Das farbige Licht der Doppelsterne*, Prag, 1842.

7. Mais Doppler oublie de nous dire ce qu'il faut entendre, quand il s'agit de son ou de lumière, par une poussée d'onde; quelque chose d'autre, à coup sûr, que le choc tumultueux des vagues contre l'avant d'un bateau qui remonte le courant d'une rivière agitée; ce parallèle serait par trop primitif. Doppler confond la poussée de l'onde avec l'onde entièrement déroulée, et cette onde entièrement déroulée, ou plutôt la cause qui la produit et qui va se distribuer sur la longueur totale de l'onde, il la fait communiquer par la source primaire au milieu en un seul élément de temps infiniment court. En douant de la vitesse de propagation ordinaire ces ondes ou poussées d'onde du son et de la lumière, dont l'origine change de place à chaque instant, il néglige de nous apprendre ce qui détermine en réalité leur progression, quelle liaison existe encore ici entre les différentes parties de la surface sphérique d'une même onde et entre l'onde et la vibration. Il nous laisse à découvrir comment les choses doivent se passer, maintenant que la source primaire émet l'onde, ou plutôt transmet au milieu la cause qui lui donne naissance, en une fraction de temps infiniment petite. Il ne se forme pas une idée nette de la nature et de la cause des ondulations qui s'avancent à la surface de l'eau. Il oublie que ces ondulations sont le résultat composé des vibrations courantes microscopiques de milliers et de milliers de molécules d'eau accumulées les unes sur les autres; vibrations qui sont excitées par un choc ou une impulsion mécanique, venue du dehors et souvent instantanée, nullement par l'action d'une source de vibrations fixes; tandis qu'ici, pour le son et la lumière, il s'agit d'une vibration courante moléculaire qui procède d'une pareille source, et qui, soit que cette source se meuve ou non, doit être transmise régulièrement dans son ensemble, avant que nous puissions parler de poussée d'onde ou de quelque chose d'analogue. Il ne nous dit pas, enfin, ce que nous avons à démêler avec cette poussée d'onde dans l'étude de la nature et des propriétés d'un pareil rayon lumineux ou sonore, non-seulement en ce qui concerne la perception, mais aussi par rapport à la foule des autres phénomènes.

8. Dans l'état présent de la science, nous sommes autorisés à remonter jusqu'aux vibrations dès molécules du milieu, et à parler de la propagation de ces vibrations, au lieu de nous absorber dans ce qu'il faut entendre par une poussée d'onde ou par une onde ainsi communiquée instantanément. Cet ébranlement successif du milieu vient-il à agir sur un corps matériel en mouvement, ou à s'y transmettre, c'est encore à la vibration que nous avons affaire en premier lieu. La théorie de Doppler devrait pouvoir se maintenir ici; mais, tout d'abord, elle reste en défaut de prouver, par exemple, que, lorsque le corps se met en mouvement, la molécule du milieu située directement devant lui fait aussitôt place, avec la rapidité nécessaire, à la molécule suivante, de façon que celle-ci, juste au moment anticipé que la théorie exige, soit surprise par le corps en mouvement dans la phase suivante de vibration. Après cela seulement il serait permis de parler, pour le son par exemple, de l'effet mécanique que la combinaison des poussées d'onde de milliers de molécules, — combinaison analogue à ce qui a lieu dans les ondes liquides, — pourrait exercer sur un système limité et présentant les conditions voulues, pour y exciter des vibrations fixes déterminées.

9. Doppler traite d'abord le cas où l'observateur se meut dans la direction de la propagation des ondes et de leurs poussées, ou, plus exactement, dans la direction de la vibration courante; et ensuite l'autre cas, où la source primaire de vibration avance seule dans cette direction. Sa formule très simple est un peu différente pour chacun de ces deux cas, mais cette différence s'explique aisément. Elle provient de ce que dans le premier cas, — en nous bornant, pour plus de simplicité, au rapprochement mutuel de la source vibratoire et de l'observateur, — l'observateur marche d'une manière continue à la rencontre de la vibration ou de la poussée d'onde développée par la source, et que par conséquent il la recueille dans un temps dont la durée est diminuée dans le même rapport qu'est diminuée, par le déplacement de l'observateur, la longueur d'une vibration entièrement déroulée ou, pour parler comme Doppler, la distance entre deux poussées d'onde;

dans le second cas, au contraire, la vibration ou la poussée d'onde devient indépendante du mouvement de la source aussitôt qu'elle est passée dans le milieu ambiant, et alors, à compter de ce point de départ, elle a encore à parcourir toute la longueur de l'onde. Tant que les vitesses α et α' de la source vibratoire et de l'observateur restent petites par rapport à la vitesse a de la vibration courante ou de la poussée d'onde, on s'en tient aujourd'hui pour les deux cas à la même formule, et la conclusion s'énonce simplement ainsi: le nombre des ondes, des poussées d'onde, ou plutôt des vibrations déroulées, que l'observateur recueille en un même temps, est augmenté dans le rapport $\frac{a + \alpha + \alpha'}{a}$, où α et α' doivent naturellement être pris positifs dans un sens opposé. Lorsque les valeurs précises de α et α' sont connues, le déplacement de la couleur vers le violet et l'exhaussement du ton peuvent donc être calculés d'une manière tout à fait exacte, en mesure et en nombre.

10. Tel est, dans sa forme systématique, le raisonnement auquel s'est laissé prendre le monde savant, et qni, étendu beaucoup au-delà des bornes où s'était renfermé l'auteur, constitue ce qu'on décore aujourd'hui du titre de théorie de Doppler, et dont l'application à l'analyse spectrale du ciel est saluée comme un progrès considérable de la science.

Les objections que cette théorie soulève se laissent résumer en peu de mots. J'ai déjà fait remarquer que Doppler ne se rend pas clairement compte de la manière dont une onde ou une poussée d'onde naît d'une vibration courante. Chaque vibration qui se propage le long du rayon sonore ou lumineux développe sa propre onde, dont la longueur est déterminée par la durée de la vibration et sa vitesse de transmission, qui est aussi la vitesse de transmission de l'onde. Une vibration est un tout qui s'achève régulièrement; il ne peut donc être question de moitiés ou de quarts de vibration, ni par conséquent de moitiés ou de quarts d'onde. L'onde se compose d'une croupe et d'une dépression; une molécule du milieu, qui est arrivée au maximum positif de l'écart de

sa vibration, se trouve au sommet de la croupe de l'onde courante. Conservons pour les ondes sonores et lumineuses cette terminologie empruntée aux ondes liquides. Lorsque d'un même point partent, d'une manière continue et régulière, des vibrations d'une durée toujours égale, le rayon sonore ou lumineux est occupé par une suite non interrompue de croupes et de dépressions alternatives, qui se joignent exactement; la distance de deux croupes successives est alors toujours égale à la vraie longueur d'onde de la vibration. Mais si, comme le suppose Doppler, le centre d'ébranlement se déplace le long du rayon après chaque vibration, et de chaque point d'arrivée lance, au repos, une nouvelle vibration, alors la connexion régulière des ondes successives est immédiatement rompue; les vibrations courantes s'exécutent bien encore dans le même temps, et la longueur des ondes respectives est restée exactement la même; mais les ondes des vibrations successives ont empiété plus ou moins les unes sur les autres, et la distance entre deux croupes ou deux dépressions consécutives est diminuée de la longueur du chemin que la source parcourt entre l'émission de deux vibrations. Voilà, en termes clairs et nets, ce que veut Doppler; rien de plus et rien de moins. Quant à un raccourcissement de la durée de la vibration ou de la longueur de l'onde, réglé de façon que les ondes successives n'empiètent plus les unes sur les autres, c'est une idée dont on ne trouve pas trace chez lui. Pour plus de simplicité, je m'en tiens ici au mouvement de la source en avant; le mouvement en arrière donnerait lieu à un effet opposé, celui d'écarter les croupes et les dépressions des ondes successives.

Lorsque des milliers de molécules liquides superposées vibrent d'une manière simultanée et concordante, et atteignent par conséquent toutes à la fois leur maximum d'écart, elles forment cette haute intumescence, de 30 pieds parfois, qui s'élève comme onde composée au-dessus du niveau de l'eau. L'origine d'où naissent ces vibrations vient-elle maintenant à se déplacer, ce qu'il est si facile de concevoir pour l'action d'un coup de vent instantané sur la surface de l'eau, et le déplacement s'opère-t-il de telle sorte

que les points d'où partent les première, deuxième, troisième, etc. vibrations, — auxquelles nous attribuons bien entendu une durée périodique égale, — soient avancés dans la direction que suivent les ondes; alors les croupes, appelées vagues dans le langage ordinaire, c'est-à dire les poussées d'onde des centres successifs, se suivront à des distances plus courtes que lorsque l'origine reste fixe. C'est là le phénomène que Doppler avait en vue, et que personne ne lui contestera. Si l'on suppose la présence d'un observateur, celui-ci recevra, dans le même temps, un nombre de poussées d'onde plus grand que celui qui correspond à la durée de la vibration et à la vitesse de propagation; cela aussi est parfaitement exact. Si en outre l'observateur lui-même se meut à l'encontre des ondes, il recevra dans le même temps des poussées encore plus nombreuses; cela non plus ne fait pas l'ombre d'un doute: le déplacement de l'observateur ne change naturellement rien à la durée de vibration des molécules du milieu, mais fait que les croupes successives sont atteintes par lui à des intervalles plus petits ou plus grands que lorsqu'il reste en repos.

Encore une fois: à Doppler maintenant de montrer comment une source de vibrations fixes peut, à l'instar des coups de vent dont il vient d'être question, transmettre ses vibrations au milieu à des intervalles successifs et d'une manière instantanée; à lui de prouver que la perception de la couleur, — pour le son, dont les ondes composées, tant condensées que dilatées, exercent un effet mécanique, nous voulons admettre provisoirement que les choses peuvent se passer ainsi, — est déterminée par le nombre des poussées d'onde reçues dans un certain temps, et non par la durée de la vibration des molécules d'éther. Ce sont là, en effet, deux éléments qu'il faut ici nettement distinguer: le nombre des poussées d'onde recueillies et le nombre des vibrations exécutées par les molécules du milieu dans un temps donné; le premier est changé, le second ne l'est pas.

Le lecteur n'a sans doute pas attendu jusqu'ici pour remonter, de ces ondes composées, liquides ou aériennes, dans lesquelles une infinité de molécules superposées vibrent à l'unisson et passent

simultanément par leur maximum, à ce rayon sonore ou lumineux idéal, sur lequel est étendue une série unique de molécules juxtaposées, et le long duquel se meut la particule d'où le son ou la lumière émanent. Il est alors arrivé par la pensée à des ondulations élémentaires qui, d'après Doppler, sont parties de points avancés chaque fois d'un petit espace, et il a fini par se représenter une série de molécules qui exécutent successivement toutes ces vibrations d'une durée parfaitement égale, et en commencent déjà une nouvelle avant que la précédente soit achevée; ceci, en effet, conformément à la théorie de la superposition des petits mouvements, ne constitue pas une difficulté. Enfin, pour le cas où l'observateur lui-même se déplace, par exemple vers la source, on aura trouvé, dans ce cours d'idées, que l'onde, la vibration déroulée, est de nouveau enroulée par l'observateur en un temps raccourci de la même quantité dont est raccourcie, par le déplacement, la longueur d'onde; toujours en supposant (voir art. 8) que les molécules d'éther ou d'air situées en contact avec l'œil ou l'oreille se sont écartées ou ont été enlevées avec la rapidité voulue.

11. Doppler pensait effectivement en émissionniste, tout en s'exprimant dans les termes de la théorie des ondulations. Il avait analysé le mode d'excitation et de progression des ondes liquides, et il ne voyait pas quelles conditions il imposait maintenant à sa source sonore ou lumineuse en mouvement; ses poussées d'onde n'étaient pas autre chose que des particules lumineuses émises à des intervalles déterminés et avec une vitesse donnée. Il ne paraît même pas avoir remarqué que ces poussées d'onde sont complétement éteintes par interférence, dès que la vitesse de rapprochement de la source devient égale à la moitié de la vitesse de propagation des ondes. Tout ce qui manquait encore, c'était de doter ces poussées d'ondes ou vibrations courantes, dans leur marche ultérieure, de la vitesse de progression de la source; ce pas, les successeurs de Doppler l'ont fait pour lui, en réunissant ses deux formules, comme je l'ai dit plus haut, en une seule.

§ IV.

12. Les trente années qui se sont écoulées depuis la publication du Mémoire de Doppler forment une période instructive dans l'histoire de la science; elles montrent comment une théorie émise à la légère, et s'appuyant sur l'analogie avec des phénomènes qui se manifestent dans des conditions toutes spéciales, peut susciter les plus graves embarras à la science et même la fourvoyer complétement. La comparaison avec les ondes liquides, dont les poussées exercent un choc mécanique, et dont le mode de production, ainsi que je l'ai rappelé ci-dessus, diffère considérablement de la transmission d'une vibration à un milieu ambiant indéfini par une source animée de vibrations fixes, — cette comparaison, suggérée par Doppler, fut le premier pas dans la voie de l'erreur. Une seconde induction, non moins hasardée que la première, fut suggérée par les recherches de M. Buys Ballot [1]) et autres, et par les résultats ainsi obtenus pour la hauteur du ton à des distances relativement petites de la source et dans la direction précise du mouvement, résultats où l'effet mécanique exercé sur un ensemble circonscrit et capable d'entrer en vibration fixes, par une poussée d'onde ou pulsation de nature spéciale, jouait le rôle principal. On établit ainsi une similitude entre des phénomènes essentiellement dissemblables, ou on conclut du particulier au général, sans tenir compte des circonstances caractéristiques qui interviennent dans la production du particulier. On décida catégoriquement: que, par le mouvement de la source vibratoire, la couleur de la lumière et la hauteur du son sont changées, conformément à la formule de Doppler; et tandis que Doppler s'était contenté de compter des poussées d'onde ou pulsations, sans approfondir la question de savoir jusqu'à quel point cela était permis, ses partisans aussi bien que ses adversaires mirent maintenant à l'ordre du jour le problème du changement de période de la vibration lors de sa transmission.

---

[1]) *Akustische Versuche auf der niederländischen Eisenbahn, nebst gelegentlichen Bemerkungen zur Theorie des Herrn Prof.* Doppler. (Poggend. *Annalen* B. LXVI, p. 321; 1845).

On comprit que la transmission instanstanée de la vibration de la source au milieu ambiant, telle que la supposait Doppler, n'était pas admissible. Pour éclaircir ses idées d'ondes et de poussées d'onde, on voulut savoir si, par l'effet du mouvement progressif de la source, la période de la vibration courante du milieu différerait, conformément à la formule de Doppler, de celle de la vibration primaire de la sonrce. Dans ce but, pour mieux rester d'accord avec la marche naturelle du phénomène, on partagea cette vibration primaire en un nombre infini d'impulsions différentielles, que la source devait communiquer au milieu une à une, en chaque point de sa route. La réunion de toutes ces impulsions, ainsi transmises successivement, prit la place de l'impulsion unique et instantanée de Doppler. De cette façon, la théorie, présentée sous une forme populaire par Doppler, reçut une couleur et une substance scientifiques. La vibration de la source en mouvement fut, pour ainsi dire, déroulée en un nombre infini de phases, et il ne s'agissait plus que de savoir si ces phases se laisseraient de nouveau enrouler de bon gré en une vibration courante, à période allongée ou raccourcie, conformément à la formule de Doppler. Comparées à ce qui allait maintenant suivre, les spéculations et les erreurs de Doppler n'avaient été qu'un jeu d'enfant.

13. En ce qui concerne le changement de couleur d'une source lumineuse en mouvement, les physiciens étaient rassurés, et une trêve avait en quelque sorte été conclue entre les combattants. M. Buys Ballot avait déjà fait remarquer que, vu la quantité infinie de vibrations de durée ou de longueur d'onde graduellement croissante, les retards et les accélérations exigés par la formule de Doppler, devant naturellement atteindre toutes les couleurs à la fois, ne pouvaient guère donner lieu à un changement de la lumière composée. En effet, pour chaque rayon qui, par le raccourcissement éventuel de la distance de ses poussées d'onde, ou mieux encore par leur succession plus rapide dans l'œil, passerait à l'extrémité violette du spectre dans le domaine des rayons invisibles, il devrait y avoir à l'extrémité rouge un autre rayon passant de la partie obscure dans la partie éclairée. De même,

à chaque rayon qui, en vertu d'un allongement de la distance considérée, ou en vertu d'une succession plus lente des pulsations dans l'œil, serait transporté à l'extrémité rouge dans le domaine des rayons invisibles, devrait correspondre à l'extrémité violette un rayon transporté de la partie obscure dans la partie éclairée du spectre. Dans les deux cas, par conséquent, la couleur de la lumière composée resterait la même pour l'observateur.

Mais bientôt s'éleva à l'Académie de Vienne une discussion entre Petzval [1]) d'un côté et von Ettingshausen [2]) et Doppler [3]) de l'autre, discussion dans laquelle la question de la transmission de la vibration au milieu ambiant par une source en mouvement fut posée dans toute sa simplicité, débarrassée de la considération accessoire de l'observateur. La question concernant l'influence du mouvement de l'observateur fut écartée par Petzval, comme n'appartenant pas au domaine de la mécanique. Au point de vue où je traite ici le problème, je n'ai pas affaire non plus avec cet observateur en mouvement.

Voyons mantenant ce que cette discussion, qui ne se termina qu'à la mort de Doppler, a mis en lumière.

Von Ettingshausen [4]) pose en principe, comme je l'ai fait moi-même au § I, que chaque impulsion momentanée excite dans un

---

[1]) Petzval, *Ueber ein allgemeines Princip der Undulationslehre; Gesetz der Erhaltung der Schwingungsdauer*. Sitzungsberichte der K. K Akademie der Wissenschaften. B. VIII, p. 134. 1852.

Petzval, *Ueber die Unzukömmlichkeiten gewisser populärer Anschauungsweisen in der Undulationstheorie*. *Ibid*. B. VIII, p. 567. 1852.

Petzval, *Ueber die Unzukömmlichkeiten gewisser populärer Anschauungsweisen in der Undulationstheorie*. *Ibid*. B. IX, p. 699. 1852.

[2]) Von Ettingshausen, *Bemerkung zu dem Aufsatze: Ueber ein allgemeines Princip etc*. *Ibid*. B. VIII, p. 593. 1852.

Von Ettingshausen, *Weitere Bemerkungen zu dem Vortrage des Herrn Prof.* Petzval, *vom* 15 *Jänner*. *Ibid*. B. IX, p. 27. 1852.

[3]) Doppler, *Bemerkungen zu dem Aufsatze: Ueber ein allgemeines Princip etc*. *Ibid*. B. VIII, p. 587. 1852.

Doppler, *Bemerkungen über die von Herrn Prof.* Petzval *gegen die Richtigkeit meiner Theorie vorgebrachten Einwendungen*. *Ibid*. B. IX, p. 237. 1852.

[4]) Voir son second Mémoire, p. 29.

milieu élastique indéfini une foule de vibrations spontanées. Ces vibrations se combinent, d'après lui, en formes de mouvement auxquelles ne convient plus la notion de vibration, et qui par conséquent ne donnent pas lieu de parler encore de durée de vibration. Il s'appuie sur le cas de la propagation linéaire d'un mouvement, et sur les intégrales trouvées par Poisson et par Ostrogradsky pour les milieux élastiques homogènes, dans lesquels la progagation du mouvement s'opère en ondes sphériques. Dans le cas le plus général, dit-il, la sommation ne se laisse pas achever, et tout ce qu'on peut faire, c'est de montrer que les ondes sont limitées.

14. Si d'un même point partent simultanément différentes ondes de longueurs régulièrement croissantes, la superposition de toutes ces ondes formera une ligne, qui très certainement sera développée suivant une période déterminée; c'est là, je pense, ce qu'entend M. von Ettingshausen, lorsqu'il veut combiner en un tout une série de vibrations de périodes régulièrement croissantes.

Mais il commet une erreur manifeste lorsqu'il croit pouvoir sommer purement des ondes de longueurs différentes. L'application qu'il fait au cas actuel des conditions simples du mouvement linéaire est aussi sujette à bien des objections; il se figure ici, à ce qu'il me semble, un courant du milieu en masse, auquel toutes les molécules prennent sans doute part, mais sans se déplacer les unes par rapport aux autres, si ce n'est aux surfaces limites de la masse en mouvement, où évidemment l'état n'est plus aussi simple. Or, quand il s'agit de vibrations, nous avons affaire à des mouvements des molécules, dans lesquels le déplacement relatif de deux molécules voisines est précisément le point essentiel.

Le principe de la superposition des petits mouvements est quelque chose de plus qu'un artifice destiné à simplifier les calculs; on le retrouve dans la nature. Toutes les vibrations, représentées par leurs sinusoïdes propres, conservent une existence indépendante ou, ce qui revient au même pour nous, elles se séparent entre elles dans leur passage d'une matière daus une autre. S'il n'en était pas ainsi, il serait impossible, en effet, de décomposer la

lumière solaire par la réfraction en ses différentes couleurs simples; et, d'un autre côté, rien ne nous empêcherait, étant donné un rayon lumineux homogène, de le résoudre en une série complète de couleurs.

15. Ce qui, de l'aveu de M. von Ettingshausen, s'applique à une impulsion initiale unique, sera évidemment encore vrai pour chacune des impulsions élémentaires, en nombre infini, dans lesquelles M. von Ettingshausen et M. Petzval se figurent décomposée l'action de la source vibratoire en mouvement sur le milieu ambiant. Chacune de ces impulsions différentielles peut donner naissance à une ou plusieurs vibrations, nécessairement de petite amplitude, qui se propagent en restant tout à fait indépendantes l'une de l'autre. Il n'y a aucune raison de ne pas admettre pour cette série de petites impulsions ce que l'on pose en principe pour une impulsion initiale unique; or c'est pourtant là, en réalité, l'erreur dans laquelle sont tombés et M. Petzval et M. von Ettingshausen.

Les deux savants ont très bien compris, ainsi que je l'ai fait remarquer plus haut, qu'il n'y avait pas moyen de s'en tenir à la transmission instantanée de la vibration, imaginée par Doppler. La première difficulté opposée par M. Petzval au raisonnement de Doppler concernait, en effet, la communication subite au milieu ambiant d'un mouvement ondulatoire en accord avec la vibration fixe. A cette hypothèse il substitua la théorie, dite par lui *ennoblie*, dans laquelle chaque vibration de la source primaire est divisée, en vue de sa transmission au milieu, en autant d'impulsions qu'il y a de phases, c'est-à-dire en un nombre infini; à ceci, M. von Ettingshausen acquiesça pleinement. Mais, par une bizarre inadvertance, M. Petzval laissa maintenant ces impulsions élémentaires se propager dans leur intégrité au sein du milieu, au lieu de les laisser se morceler en vibrations. Le résultat de ses formules était, par suite, facile à prévoir; en attribuant à la source vibratoire un mouvement de progression, il devait retrouver quelque part, sur une molécule située dans la direction de ce mouvement, les impulsions primitives, simplement resserrées dans une période plus

courte. Il obtient pour une pareille molécule une durée de vibration raccourcie exactement d'autant que le voulait Doppler, résultat bien naturel, puisqu'il en avait introduit d'avance les conditions. Pour une molécule située de l'autre côté, c'est-à-dire derrière la source vibratoire, le succès est le même : il trouve la vibration transmise intégralement, et sa période allongée de la quantité précise qu'avait assignée Doppler. — M. von Ettingshausen ne pouvait pas désirer mieux ; aussi s'empressa-t-il d'adopter les heureuses conclusions de M. Petzval, et de renoncer à toutes ces vibrations de longueurs d'onde différentes, qui naissent d'une impulsion unique et ont, comme nous l'avons vu, un si singulier résultat sommatoire.

16. La seconde objection de M. Petzval était que Doppler admet tacitement que le milieu est incapable de participer au mouvement de la source. Comme M. Petzval prend généralement pour source de vibrations une source sonore, c'est aussi spécialement d'une pareille source qu'il parle ici. Quant au son, on doit bien certainement admettre que l'air, du moins au voisinage de la source, est entraîné totalement ou partiellement dans le mouvement de progression. Mais pour ce qui regarde la lumière, on est aujourd'hui autorisé et même tenu à croire que le milieu qui entoure la source, et qui reçoit les vibrations et les propage, reste en repos.

Dans son premier Mémoire, M. Petzval a maintenant montré, par la voie de l'analyse, qu'un mouvement ondulatoire peut être superposé à un mouvement de progression, c'est-à-dire, que les ondulations, excitées par la source vibrante dans un milieu qui chemine uniformément avec elle, ont la même longueur que si tous les deux, source et milieu, demeuraient au repos ; c'est ce qu'il appelle, d'une manière générale, *le principe de la conservation de la durée de vibration*. Ce résultat a encore reçu l'assentiment complet de M. von Ettingshausen. Mais la démonstration et l'objection de M. Petzval manquaient leur but, parce que l'entraînement du milieu faisait précisément esquiver la grande difficulté de la communication de la vibration par une source animée d'un mouvement relatif, et parce que, d'un autre côté, soit que le milieu

participe au mouvement soit qu'il n'y participe pas, le nombre des poussées d'onde qui arrivent dans un même temps à l'observateur de Doppler, c'est-à-dire au terme final, sera toujours augmenté ou diminué conformément à la formule posée par Doppler. Une longueur d'onde inaltérée, dans un milieu entraîné avec la source vers l'observateur, rendra à Doppler les mêmes services que la longueur d'onde raccourcie dans un milieu au repos, que lui fournit M. Petzval, ou que la source émettant ses ondulations non raccourcies en des points de plus en plus rapprochés du terme final, qu'il s'était créé à lui-même.

17. Dans son troisième Mémoire, M. Petzval traita enfin de la distinction que ses adversaires avaient faite entre l'objectif et le subjectif, par l'introduction de l'observateur. Mais, ici encore, il fit malheureusement fausse route, car le sens qu'il attache à cette distinction diffère de celui qu'elle avait dans l'esprit des deux autres savants. Il prend le mot „subjectif" dans son acception ordinaire: un observateur qui, par suite d'un état particulier de son cerveau ou de son organe de perception, donne aux phénomènes une autre interprétation que celle qui leur convient, fournit des résultats „subjectifs", dépourvus de valeur vraie ou objective. Or, en ce qui concerne le raisonnement de Doppler, on peut y mettre une borne à la place de l'observateur, sans qu'il s'en trouve atteint; pour Doppler, le sujet observant n'est que le point de mire, le terme vers lequel ses poussées d'onde avancent d'un pas accéléré ou retardé; son raisonnement a donc un sens parfaitement objectif.

L'analyse de M. Petzval, je le répète, avait manqué son but: les résultats de la théorie *ennoblie* par lui concordent entièrement, si je les comprends bien, avec les vues originales de Doppler; les divergences que M. Petzval signale encore sont, en effet, d'importance secondaire dans les conditions ordinaires, et leur existence est plutôt nominale que réelle. Du moment que M. Petzval laisse subsister comme telles les impulsions élémentaires communiquées au milieu par la source en mouvement, du moment qu'il les laisse se propager sans altération et les considère seulement dans leur mouvement en arrière ou en avant, au lieu de les ré-

soudre toutes individuellement en vibrations, il est sur une fausse voie et perdu sans ressource. S'il s'était hasardé pour un instant, avec son rayon lumineux, en dehors de la direction du mouvement de la source, ou s'il avait réfléchi à la cause qui devait pousser en avant ces impulsions devenues en quelque sorte flottantes, peut-être aurait-il encore reconnu son erreur.

Quant à ses deux autres objections, elles n'atteignaient en rien la théorie de Doppler. Du reste, M. Petzval lui-même s'exprime, à la fin de son troisième Mémoire, dans les termes suivants, qui méritent d'être remarqués:

„Si, dans l'état actuel de la question, l'influence que le mouvement progressif d'une source sonore ou lumineuse exerce sur le mouvement vibratoire ne peut encore être considérée comme entièrement élucidée, il est pourtant tout à fait certain que, ni dans son degré, ni dans l'ordre d'action auquel elle appartient, cette influence n'est celle que la théorie de Doppler assigne."

De ce que M. Petzval dit dans les trois dernières de ces lignes, il m'est impossible de trouver la preuve convaincante dans ses Mémoires; c'est donc une simple assertion, plutôt qu'une vérité démontrée. Quant à ce qui précède, c'est l'aveu complet que, sur le terrain qu'il avait choisi, il n'avait pas été en état de combattre victorieusement son adversaire. Sans s'en apercevoir, il s'était placé au même point de vue que Doppler, et voilà pourquoi il avait échoué dans sa réfutation. Tandis que Doppler s'en était tenu à la notion vague des poussées d'onde, et avait encore laissé la possibilité de conserver intacte la durée de la vibration des molécules elles-mêmes, M. Petzval était arrivé, par la voie analytique, à allonger ou à raccourcir cette durée de vibration, et il avait ainsi considérablement aggravé les choses. Le passage cité trahit un certain désappointement, facile à comprendre. M. von Ettingshausen avait eu trop beau jeu contre son adversaire et l'avait en quelque sorte pris au piége de ses propres raisonnements analytiques.

§ V.

18. L'erreur de l'analyse de M. Petzval (voir son second Mémoire, p. 583, aux alinéas commençant par Erstens, Zweitens et Drittens, et le troisième Mémoire, p. 712) est qu'il ne reconnaît pas que chaque impulsion ou déplacement communiqué doit se propager, en chaque point de son parcours, aussi bien en arrière qu'en avant, mais qu'il conclut au contraire que cela s'applique seulement au point de départ. Chaque fois que l'impulsion abandonne les molécules dans lesquelles elle réside pour le moment, elle se transmet en arrière et en avant, tout comme à l'origine; car elle se trouve alors exactement dans les mêmes conditions que lorsqu'elle animait la molécule frappée initialement.

M. Petzval commence par parler d'un déplacement pur et simple que viennent à subir les molécules situées dans un même plan ou dans son voisinage ; puis il y substitue tout d'un coup une onde plane, qui ne paraît pas présenter de dépression, et plus tard il attribue au déplacement, d'une manière tout à fait arbitraire, la vitesse de propagation de l'onde. Dans son troisième Memoire, il trouve ainsi, par exemple, que, si le déplacement se propage en partant d'une seule molécule, il sera, dans la direction de l'axe des x, après le temps t et à la distance r de cette première molécule:

$$\xi = \frac{1}{r} f(r - st) + \frac{1}{r} \mathrm{F}(r + st);$$

où s est la vitesse de propagation des ondes, tandis que $f(u)$ et $\mathrm{F}(u)$ sont deux fonctions qu'on suppose n'avoir une valeur appréciable qu'entre des limites très étroites, $+\varepsilon$ et $-\varepsilon$, de u; en effet, le déplacement primitif, pour le temps $t = 0$, n'avait une grandeur sensible que pour des valeurs de r qui différaient très peu de zéro, c'est-à-dire pour des points très rapprochés du centre.

De même, dans le cas où l'impulsion émane d'un plan, il trouve pour le déplacement transmis dans la direction de la perpendiculaire à ce plan:

$$\xi = f(x - st) + \mathrm{F}(x + st);$$

où il n'est de nouveau attribué une valeur appréciable aux deux fontions f (u) et F (u) que pour des valeurs très petites, posi tives ou négatives, de u.

Ici nous touchons du doigt la source de la méprise de M. Petzval : il admet que, à raison des limites étroites entre lesquelles est borné le déplacement original, $f(u)$ et $F(u)$ s'annulent chacune séparément, aussitôt que u prend une valeur sensible, positive ou négative ; or cet état initial l'autorise seulement à admettre une pareille annulation pour la somme $f(u) + F(u)$. Il fait de ce déplacement une onde sans dépression. De ces prémisses il est donc impossible de tirer une conclusion qui soit d'accord avec la nature. Si l'on posait $f(u) + F(u) = 0$, toujours pour de petites valeurs de u, on trouverait sur la normale un état de déplacement tout autre que celui obtenu par M. Petzval.

19. Suivons-le maintenant encore pour ce qui concerne l'onde plane proprement dite, c'est-à-dire, pour le cas où la source vibratoire peut être représentée par un plan de molécules vibrantes, qui se meut avec la vitesse c dans la direction de sa perpendiculaire ; soit θ le temps courant.

En chaque point de son parcours, la source communique aux molécules du milieu de nouveaux écarts ou déplacements, qui se propagent ensuite sans altération. Pour une molécule du milieu, placée sur la perpendiculaire à la distance x de la position initiale du plan, le déplacement résultant ξ à l'instant t peut être trouvé par les intégrales :

$$\xi = \int_0^t f\Big(x - c\theta - s(t-\theta)\Big)\, d\theta + \int_0^t F\Big(x - e\theta + s(t-\theta)\Big)\, d\theta.$$

Mais la source elle-même, ou plutôt ses molécules, qui communiquent les déplacements, sont en vibration ; les impulsions excercées, à l'instant θ et pendant le temps $d\theta$, par ces molécules vibrantes primaires sont donc représentées par $\sin k\theta\, d\theta$, et par conséquent les déplacements ou écarts sont aussi proportionnels à cette quantité.

On a donc :

$$\xi = \int_0^t f\Big(x - c\theta - s(t-\theta)\Big) \sin k\theta\, d\theta + \int_0^t F\Big(x - c\theta + s(t-\theta)\Big) \sin k\theta\, d\theta.$$

Maintenant, tout est trouvé ; on change la variable dans ces

intégrales, par exemple dans la première, en posant

$$x - c\theta - s(t - \theta) = u;$$

il vient alors:

$$\theta = \frac{u - x + st}{s - c},\ d\theta = \frac{du}{s-c} \text{ et } \sin k\theta\, d\theta = \sin k\, \frac{u - x + st}{s - c}\, \frac{du}{s-c}.$$

Or, selon M. Petzval, $f(u)$ n'a une valeur appréciable qu'entre les limites $+\varepsilon$ et $-\varepsilon$; par conséquent, dans l'expression affectée du sinus, on peut négliger au numérateur u vis-à-vis de $st - x$, et alors $\sin k\, \frac{st - x}{s - c}$ vient en dehors du signe d'intégration. La premiére des deux intégrales devient donc:

$$\frac{1}{s - c} \sin \frac{k}{s - c}(st - x) \int_{-\varepsilon}^{+\varepsilon} f(u)\, du;$$

la valeur de l'intégrale définie est une grandeur constante C, et par conséquent on a finalement:

$$\frac{C}{s - c} \sin \frac{k}{s - c}(st - x).$$

De la même manière, on trouve pour la valeur de la seconde intégrale:

$$\frac{C}{s + c} \sin \frac{k}{s + c}(st + x);$$

de sorte qu'il vient:

$$\xi = \frac{C}{s - c} \sin \frac{k}{s - c}(st - x) - \frac{C}{s + c} \sin \frac{k}{s + c}(st + x).$$

Voici donc le résultat: deux vibrations communiquées au milieu, l'une avec une période raccourcie, l'autre avec une période allongée, — tout juste comme le réclamait la théorie de Doppler pour avoir un vêtement scientifique, — et dont la première se propage convenablement en avant, la seconde en arrière. De cette façon, en effet, la périodicité de la vibration de la source est transmise très ingénieusement, et avec les modifications nécessaires, au milieu ambiant.

Mais, pour les raisons dites ci-dessus, ce résultat n'a pour moi aucune valeur démonstrative.

§ VI.

20. La discussion dont je viens de rendre compte paraît avoir passé, au premier abord, inaperçue pour beaucoup de physiciens. Grâce à la remarque mentionnée à l'art. 13, ils étaient tranquillisés au sujet du changement de couleur des étoiles; en ce qui concerne le son, ils invoquaient les expériences de M. Buys Ballot et autres comme preuve à l'appui de la conception de Doppler; à ces expériences on en ajoutait d'autres, et, sans souci de l'étrange confusion qu'on faisait entre les idées de vibration, d'onde et de poussée d'onde, on se trouvait heureux de la vérité nouvelle. Tel était l'état des esprits; la grande majorité, à coup sûr, tenaient la théorie de Doppler pour chose démontrée, et la science, une fois engagée dans une voie fausse, était toute préparée à accepter l'équivalence des notions de pulsation d'onde et de distance apparente ou réelle des pulsations d'ondes à celles de vibrations et de longueur d'onde normale. A cette heure néfaste, l'analyse spectrale vint faire son apparition, et aussitôt on décida que, même en laissant inaltérée la couleur de la lumière composée ou résultante, le mouvement de la source ou du prisme pouvait au moins déplacer dans le spectre les raies de Fraunhofer ou leur phénomène parallèle, les raies brillantes. En effet, si Doppler avait touché juste, la raie jaune D, par exemple, devait se montrer à l'observateur un peu plus verte ou un peu plus rouge, et par conséquent lui paraître déplacée vers le rouge ou vers le vert. Ceci, avec l'idée des poussées d'onde accélérées ou retardées, avait encore un sens, tant qu'on s'en tenait à la perception de la couleur, et qu'on faisait dépendre celle-ci de la fréquence des pulsations qui frappent l'œil. Mais, sans y songer, on franchit maintenant ce pas: à l'observateur, ou plutôt à l'œil, on substitua le prisme. Au mouvement de la source, pour nous borner à celle-ci, on attribua le pouvoir de changer la réfraction du rayon lumineux. Ce chan-

gement exige une modification de la durée de vibration des molécules dans le rayon incident et de la longueur d'onde normale qui y correspond, — c'est là un point sur lequel tout le monde est sans doute d'accord. Or, ces deux éléments, je prétends que Doppler lui-même les avait laissés intacts, et le lecteur peut juger, d'après cela, jusqu'à quel point la discussion entre M. Petzval et M. von Ettingshausen a contribué à donner naissance à l'erreur dont il s'agit.

Exprimons-nous encore plus clairement, de crainte d'être mal compris. Admettons qu'à raison du retard des poussées d'onde, occasionné par le mouvement rétrograde de la source, un rayon lumineux jaune vire au rouge pour l'œil; il n'en continuera pas moins, avec le même prisme, à avoir comme rayon rouge le même indice de réfraction, par conséquent la même déflexion, qu'il avait comme rayon jaune lorsque la source était immobile, — à condition que la durée de vibration de ces molécules et la longueur d'onde proprement dite n'aient subi aucune altération; à cet ègard, il ne peut y avoir l'ombre d'un doute. Doppler lui-même, bien que placé à un point de vue tout différent du mien, aurait encore jugé comme moi en ce qui concerne l'invariabilité de la réfraction; ce sont ses successeurs qui ont introduit l'idée nouvelle de la mutabilité. Plus loin, quand j'aurai terminé mon résumé historique, je montrerai comment la condition nécessaire pour cette invariabilité de la réfraction me paraît devoir être maintenue.

21. Il ne servit de rien que M. Angström [1]) fît connaître le résultat négatif de ses expériences concernant le spectre de l'étincelle électrique, dans lequel les lignes brillantes se montraient toujours à la même place, malgré la grande vitesse avec laquelle les particules sont projetées dans des direction opposées à partir des deux pôles. Il ne servit de rien que M. Petzval, dans une Communication [2]) où perce encore le même sentiment de contra-

---

[1]) *Optische Untersuchungen*. Poggend. *Ann.*, B. XCIV. p. 141. 1855.

[2]) Angström's *Untersuchungen über das Spectrum des electrischen Funkens in Beziehung auf die Farbe der Doppelsterne.* Sitzungsberichte der K. K. Akad. d. Wissensch., B. XVI, p. 521. 1860.

riété que dénotait la conclusion de son troisième Mémoire, fît part à l'Académie de Vienne de ce résultat négatif de M. Angström, en le présentant comme une preuve expérimentale contre la théorie de Doppler, ou plutôt contre le changement de la durée de vibration. Le peu de succès de leur opposition tenait à ce qu'eux-mêmes, ce me semble, n'avaient pas nettement conscience du désaccord qui pouvait exister entre le changement de couleur pour l'œil, tel que le voulait Doppler, et le changement de déflexion par le prisme, dont il était maintenant question. Ils ne voyaient plus de différence spécifique entre l'accélération ou le retard de la poussée d'onde, qui était peut-être capable de produire le premier de ces changements, et la modification de la durée de vibration de la lumière incidente, qui constituait une condition essentielle pour le second; ces deux notions, en effet, avaient été identifiées par M. Petzval et M. von Ettingshausen. M. Petzval était allé trop loin et s'était vu impuissant à établir analytiquement que la durée de vibration des molécules de l'éther reste inaltérée dans le cas du déplacement de la source. D'un autre côté, le raisonnement si simple de Doppler était à la portée de tout le monde. On continua donc, en quelque sorte, à prendre pour base unique les phénomènes du son, qu'on regardait comme suffisamment démontrés et qui s'expliquaient d'une manière satisfaisante, suivant les idées de Doppler, par une accélération de la poussée d'onde; et on conclut de là à des phénomènes concernant la réfraction de la lumière, qui dépendent exclusivement de la durée de vibration des molécules de l'éther. Je serais même tenté de croire, quelque paradoxal que cela paraisse, que les expériences de M. Angström ont justement été, pour beaucoup de partisans de Doppler, la circonstance première qui les a déterminés à proclamer, dans leur foi inébranlable à la théorie du maître, le déplacement des raies du spectre.

22. En M. Mach [1]) nous trouvons un de ces partisans déclarés de Doppler. Chez lui ce sont de nouveau les explosions auxquelles

[1]) Poggend. *Ann.*, B. CXII, p. 58. 1861.

on s'attache de préférence, et l'analyse de M. Petzval est considérée comme un mode de déduction plus rigoureux et plus élégant, qui a d'ailleurs conduit, en ce qui concerne la longueur d'onde, au même résultat [1]). M. Mach défend les vues de Doppler relativement au son; il peut y avoir, dit-il, des tons d'explosion, comme dans une sirène à trous très éloignés les uns des autres et dans la roue dentée de Savart. Plus loin, je reviendrai sur la sirène; il est parfaitement vrai qu'ici, avec les explosions, des vibrations courantes sont excitées dans l'air, mais les périodes de ces vibrations n'ont peut-être, au moins dans la sirène de Seebeck, aucun rapport avec la hauteur du ton perçu; et une source sonore ou lumineuse à vibration fixes ne détermine pas, en général, de pareilles explosions. On le voit, M. Mach reste fidèle à l'idée fondamentale de Doppler, celle de pulsations communiquées au milieu par la source en des points successifs; c'est toujours la poussée accélérée d'ondes qui peuvent très bien se superposer l'une à l'autre.

C'est ensuite le même passage, aussi en ce qui touche les formules, des explosions aux phases et à la vibration courante, comme le montre la citation suivante: „Mais si les ondulations élémentaires qui composent une onde se propagent avec une même vitesse et sans dérangement mutuel, ainsi qu'on l'admet sans doute, ces formules (de Doppler) sont applicables à toutes les formes d'ondes, puisque la hauteur du ton n'est déterminée que par la distance de deux phases correspondantes et d'ailleurs quelconques, phases qu'on peut alors toujours regarder comme instantanées ou comme constituant des explosions" [2]). Par onde, on entend ici évidemment le résultat composé des vibrations élémentaires de milliers de molécules, ce que nous aimons mieux appeler poussée d'onde. — Personne ne contestera à M. Mach que cette poussée d'onde, née d'une source procédant par explosions et animée d'un mouvement de progression, participe à cette progres-

[1]) l. c., p. 59.
[2]) l. c. p. 60.

sion; les ondulations de l'eau, sous l'action progressive d'un coup de vent, nous le montrent clairement.

Donnons à cette poussée d'onde, dans le cas du son, le nom d'impulsion de condensation ou de dilatation; ces impulsions pourront donc, portées par les vibrations des molécules, se propager dans leur intégrité, et leur vitesse de propagation deviendra égale à la vitesse de l'onde augmentée de celle de la source. S'il se trouve alors sur leur parcours un ensemble circonscrit et approprié, — et c'est ainsi que nous nous représentons l'oreille, — les impulsions successives y exciteront une vibration, dont la hauteur sera réglée par leur fréquence. Toutes les expériences sur lesquelles M. Mach et autres s'appuient pour défendre la manière de voir de Doppler, et dont une sera examinée tout à l'heure en détail, rentrent dans la même catégorie, celle de l'action exercée par des impulsions de condensation ou de dilatation, qui ont été communiquées à l'air le plus souvent sous forme d'explosions, et qui sont transmises pendant quelque temps sans division, comme phénomène sommatoire, par des vibrations d'une durée souvent inconnue. — Le ton perçu change alors avec le déplacement de la source d'explosions, mais pour cela ce déplacement n'a pas encore raccourci, selon la loi de Doppler, la longueur d'onde des vibrations élémentaires courantes, qui peut-être même n'ont pas de rapport du tout avec les vibrations de l'instrument sonore; les impulsions de condensation et de dilatation ont simplement excité dans l'oreille, par le seul effet de l'accélération de leur succession, une vibration plus élevée que celle donnée par l'instrument. On voit quel abîme il y a entre la signification des expériences invoquées et la transmission régulière, de molécule en molécule, d'une vibration dont la période serait modifiée par le mouvement de la source.

Plus haut, á l'art. 11, j'ai déjà dit que les successeurs de Doppler ont encore doué la vibration, une fois émise, sur toute sa route ultérieure, de la vitesse de la source, idée qui ne trouvera guère d'appui dans les vues plus saines que je viens d'ex-

poser. M. Mach [1]), voulant mettre en formule la durée apparente de la vibration, commet la même erreur. Il pose $\tau' = \tau \frac{\gamma - k}{\gamma - c}$, où τ et τ' représentent la durée vraie et la durée apparente, et γ, k et c les vitesses du son, de la source et de l'observateur, comptées toutes les trois dans le même sens.

Nous laissons à M. Mach la possibilité d'exciter dans un appareil approprié, — l'oreille ou un résonnateur quelconque, — une vibration fixe plus élevée que celle qu'exécute son anche, sa sirène ou un instrument analogue, par le simple effet mécanique d'impulsions de condensation ou de dilatation, arrivant en succession plus rapide, sur la membrane du tympan, par exemple. Mais, entre ce résultat et la durée de vibration de la source, le seul rapport que nous admettions, c'est que cette dernière règle le rhythme des condensations et des dilatations successivement propagées. Nous ne voyons même plus de lien nécessaire entre la longueur d'onde de la vibration fixe de la source et celle des vibrations qui, dans les expériences de M. Mach, transportent sans morcellement les impulsions jusqu'à l'oreille. Nous ne nous astreignons pas à déterminer dans tous les cas la longueur d'onde d'une vibration courante par la distance, sur le rayon, de deux phases correspondantes successives, mais nous nous en tenons pour cela à la définition simple de l'ensemble de la croupe et de la dépression qui se déroulent d'une vibration complète. Nous posons en principe la conversion de chaque explosion en une vibration, et à la place d'une vibration unique nous en mettons un grand nombre, de périodes différentes. Enfin nous nions la stabilité d'impulsions, de déplacements ou de phases élémentaires isolées, émises dans un milieu indéfini, et la résumption de ces dernières en une vibration modifiée.

Les expériences de M. Mach n'ont, en effet, pas d'autre portée que celle qui vient de leur être attribuée: son petit tuyau à anche expulse ou admet, à des distances variables de l'oreille et à des

---

[1]) l. c. p. 60.

instants réglés par la vibration de l'anche, des masses d'air relativement considérables, dans lesquelles sont excitées, en partie par le concours de l'anche, toutes sortes de vibrations; de là des condensations et des dilatations successives, qui, au moyen de ces vibrations, sont encore transportées dans leur ensemble jusqu'à l'oreille, où elles donnent naissance par leur effet mécanique à une vibration fixe, dont la période est déterminée par ces intervalles de plus grande expulsion et de plus grande admission et par les distances variables du tuyau à l'oreille. On voit clairement qu'ici, aussi longtemps du moins que l'interférence ne dérange rien, les périodes des vibrations qui transmettent les condensations et les dilatations jusqu'à l'oreille, sont tout à fait indifférentes pour le résultat, puisque pour chaque mélange de vibrations la pulsation sommatoire non encore désagrégée est tout ce dont il y a lieu de tenir compte. Pour le changement de la longueur d'onde de la vibration primaire de la source, dans sa transmission au milieu, ces expériences ne prouvent absolument rien. Elles n'ont donc rien à démêler non plus avec les recherches analytiques de MM. Petzval et von Ettingshausen.

M. Mach dit [1]): „Il convient de remarquer, en outre, que le principe de Petzval (celui de la conservation de la durée de vibration) parle de la durée de la vibration d'une seule et même molécule, tandis que l'œil et l'oreille, dans l'état de mouvement, reçoivent leurs phases à chaque instant d'une molécule différente." Avant d'émettre une pareille assertion, j'y aurais réfléchi longtemps, car je doute si, pour l'oreille par exemple, les choses se passent bien ainsi.

Les recherches de M. Angström, dont il a été question plus haut, tombent en dehors des limites de la théorie explosive de Doppler, puisqu'elles ont rapport à la transmission régulière d'une vibration fixe. M. Mach aurait pu s'abstenir d'en parler; car ses expériences, qui concernent uniquement un mode spécial d'excitation de vibrations fixes dans un ensemble circonscrit, n'ont évidemment

---

[1]) l. c., p. 61.

rien à faire avec la transmission d'une vibration à un milieu indéfini. La distinction qu'il établit entre la progression des particules incandescentes et la progression de l'incandescence me paraît dénuée de valeur, et quant à l'argument contre la grande vitesse des particules [1]), tiré de leur entraînement supposé par l'air, il tombe de lui-même, attendu que M. Angström [2]) dit explicitement que les particules sont *lancées* dans la direction verticale, ce qui est tout autre chose que que d'être emportées par un courant ascendant d'air échauffé.

Au sujet des l'application de vues de Doppler à l'analyse spectrale du ciel, M. Mach partage les opinions ordinaires.

Je lis encore dans le même Mémoire [3]): „Dans un travail ultérieur nous étudierons plus à fond l'influence que la vitesse du mouvement progressif et le changement de densité du milieu exercent sur la hauteur du ton." Et plus loin [4]): „Pour cette raison, le résultat du calcul précédent" — la formule communiquée ci-dessus — „ne sera probablement pas affecté d'une manière notable par l'influence du mouvement progressif dans le cas d'une faible vitesse (il n'en serait plus ainsi, naturellement, pour un mouvement très rapide). Cette déduction, que nous avons simplement indiquée et qui dépend en réalité de l'intégration d'une équation différentielle partielle, nous nous proposons d'ailleurs de la développer prochainement par l'analyse, en faisant les hypothèses nécessaires pour la simplification du problème, qui, dans sa forme la plus générale, offrirait de très sérieuses difficultés."

Tout cela à propos des vues de Doppler et d'une excitation spéciale, très facilement explicable, de vibrations sonores fixes dans un ensemble circonscrit. On serait presque tenté de demander si la chose en valait bien la peine. A ma connaissance, le travail annoncé dans le passage cité n'a pas encore vu le jour; mais

---

[1]) l. c., p. 64.
[2]) Poggend. *Annalen*, B. XCIV, p. 188, art. 14.
[3]) l. c., p. 59.
[4]) l. c., p. 63.

j'ai trouvé un autre Mémoire de M. Mach [1]), dans lequel il se rallie évidemment à la théorie *ennoblie* de M. Petzval, et renonce par conséquent à la communication instantanée de la vibration admise par Doppler. Les raisons qui me font rejeter cette théorie ennoblie ont été développées plus haut.

23. Un dernier Mémoire de M. Mach [2]), dont je veux encore dire quelques mots, est dirigé contre le travail de M. Petzval; on y retrouve les mêmes idées, appuyées des mêmes arguments.

Mais, en outre, nous rencontrons ici une singulière erreur, que M. Mach commet en appliquant sa formule, que j'ai donnée plus haut. A l'art. 2, il écrit [3]): „M. Petzval, dans sa déduction mathématique, croit pouvoir remplacer le mouvement relatif de la source vibrante et de l'observateur par un courant du milieu, ce qui est inadmissible.” Et plus loin: „Il revient évidemment au même, que de la source A à l'observateur B procède un courant de la vitesse c, ou que A et B se meuvent ensemble avec la vitesse c dans la direction opposée, tandis que le milieu reste en repos.” Il pose maintenant $k = c$ dans la formule, et trouve naturellement $\tau' = \tau$. Il poursuit alors: „Nous trouvons ainsi $\tau = \tau'$, c'est-à-dire, que la hauteur du ton ne change pas lorsque la source et l'observateur se meuvent avec une même vitesse dans une même direction, ou lorsque le milieu est affecté d'un courant dans la direction opposée.” Ici se manifeste d'une façon caractéristique la différence des points de vue de M. Mach et de Doppler. M. Mach par sa formule donne en surcroît, à la pulsation ou à la vibration une fois émise, la vitesse de la source, ce qui revient au même que s'il attribuait la vitesse de A au milieu interposé entre A et B; c'est ce que Doppler n'avait pas fait; et, malgré cela, leurs résultats coïncident pour une vitesse égale de A et de B, parce qu'alors la divergence se résout en une différence de longueur d'onde et non en une différence de durée apparente

---

[1]) Schlömilch, *Zeitschrift für Mathematik und Physik*, 1861.
[2]) Poggend. *Annalen*, B. CXVI, p. 333. 1862.
[3]) l. c., p. 334.

de la vibration. Mais, précisément pour cette raison, M. Mach, avec sa formule, ne peut pas substituer à un mouvement de même vitesse de A et de B un courant en sens opposé; A et B restant en repos, un simple courant, ainsi que je l'ai déjà fait remarquer à l'art. 16, transportera bien certainement avec plus de rapidité les ondes dont il s'est chargé, et les fera se succéder pour l'observateur suivant un rhythme accéléré. M. Mach a pris trop de liberté avec les formules de Doppler, et, dans son désir de réfuter M. Petzval, il est allé plus loin que son maître.

M. Mach [1]) invoque dans ce Mémoire les expériences de M. Fizeau [2]), qui ont montré que le mouvement dans lequel des prismes de verre sont entraînés avec la Terre augmente la déviation du plan de polarisation du rayon réfracté par ces prismes.

Ces expériences forment le complément de celles que l'auteur avait déjà faites sur l'eau en mouvement [3]) et que nous avons citées plus haut; elles prouvent pour les corps solides ce que les précédentes avaient établi pour les liquides, savoir, que l'éther est entraîné par les corps matériels conformément à l'hypothèse de Fresnel. Or, quelles que soient les conséquences qui découlent de là, bien certainement on n'en conclura pas que la direction du rayon transmis est changée par le mouvement de la Terre.

Quant à l'expérience avec les miroirs à interférence de Fresnel, que M. Mach propose ensuite, il n'y a, ce me semble, d'après la propre théorie de Doppler, rien à en attendre, puisque l'observateur et les miroirs possèdent des vitesses égales, et que par conséquent l'un des mouvements est compensé par l'autre. Si l'expérience ne donne aucun résultat, cela importera donc peu pour la question en litige.

Enfin, je ne puis laisser passer sans protestation l'assertion

---

[1]) l. c., p. 336.

[2]) *Comptes rendus*, T. XLIX, p. 717. 1859. Voir Faye, *C. R.*, T. XLIX, p. 870 et 993. et T. L, p. 121, 1860. Voir aussi: Poggend. *Annalen*, B. CIX, p. 162, et Tessan, *C. R.*, T. XLIX, p. 980, et T. L, p. 78.

[3]) *Comptes rendus*, T. XXXIII, p. 349. 1851. Poggend. *Annalen*, *Ergänzungsband* III, p. 457. 1853.

suivante [1]): „Pour un corps en mouvement, non-seulement la direction de la réflexion devient autre, mais la longueur d'onde est également changée, comme on l'a constaté dans les expériences bien connues faites sur les chemins de fer." Evidemment il s'agit ici des expériences de MM. Buys Ballot et Scott Russel, que j'ai déjà rappelées précédemment; mais, s'il en est ainsi, je dois déclarer ne pas comprendre comment, de la surélévation du ton, constatée par l'observateur au repos ou en mouvement, on peut conclure à un raccourcissement de la longueur d'onde dans l'air. Rien n'autorise à attribuer à ce phénomène, qui s'explique si aisément par l'arrivée accélérée d'impulsions de condensation successives sur un ensemble circonscrit, la valeur d'un argument péremptoire dans une question aussi importante de la théorie des ondes.

Dans une dernière Notice [2]), M. Mach décrit un appareil à cylindres métalliques, qui doit donner une représentation de la manière dont une impulsion se propage. Cela semble indiquer que l'auteur part encore de l'idée qu'une impulsion peut cheminer comme telle dans un milieu élastique indéfini; or, l'impulsion de condensation ou de dilatation dans l'air, dont on parle si volontiers, n'est partout et toujours qu'une expression abrégée pour un phénomène sommatoire, — la poussée d'onde, — qui naît des vibrations de milliers de molécules, lesquelles vibrations n'ont même pas besoin de correspondre toutes à une même longueur d'onde; si effectivement les longueurs d'onde diffèrent, ou si les molécules sont assujetties simultanément à des vibrations de durées différentes, l'impulsion sommatoire se désagrège dès la vibration suivante, preuve de son instabilité propre.

Ni Doppler, *ni aucun de ses partisans ou de ses adversaires n'a jusqu'ici mis bien en lumière que l'explosion ou l'impulsion* (*condensation ou dilatation pour le son*), *dont il est toujours question, ne*

---

[1]) l. c., p. 336.

[2]) Carl, *Repertorium der Physik*, B. III, p. 324, et *Fortschritte der Physik*, B. XXIV, p. 237, Berlin, 1872.

peut être transportée que par des vibrations, et que la durée de ces vibrations est tout à fait arbitraire, sans le moindre rapport nécessaire avec la durée de la vibration fixe de la source sonore qui fournit éventuellement l'impulsion. Et la structure de l'oreille, et la construction des instruments musicaux employés dans ces expériences autorisent cette interprétation, puisque toutes les condensations et les dilatations émises par l'instrument, et dont les temps sont réglés par les maxima d'écart ou de vitesse des vibrations fixes successives, n'ont besoin d'agir chacune qu'une seule fois sur l'oreille, savoir, par la première poussée sommatoire.

Je termine ici mes remarqnes sur une période pendant laquelle une discussion souvent passionnée a été soutenue, uniquement parce qu'on avait attribué à un phénomène très simple d'excitation de vibrations fixes un degré d'importance qu'il ne comportait pas, et qu'on s'était par là fourvoyé dans les questions fondamentales concernant la propagation des vibrations. Dans l'ardeur de la lutte, on ne prit pas le temps d'appliquer la règle d'or: *qui bene distinguit bene docet*, et on tomba ainsi dans une inextricable confusion des idées d'impulsion, d'onde, de poussée d'onde, de vibration, etc. Ce n'est pas sans raison que le ton satirique fut plus d'une fois employé par M. Petzval; mais lui-même ne sut pas échapper au courant général et y fut entraîné malgré tous ses efforts. Les erreurs qu'il commit, lui et l'analyse elle-même ont dû les expier chèrement, par le persifflage auquel son travail d'ailleurs si distiugné fut en butte de la part de ses adversaires, persifflage déplacé, mais que, de son côté, il avait provoqué trop légèrement.

Pour montrer à quel point la conception de Doppler avait jeté des racines profondes, je citerai encore cette seule ligne des *Fortschritte der Physik für* 1861 [1]): „En présence de la simplicité et de l'évidence de la théorie de Doppler, nous croyons etc." La simplicité, certes, on ne saurait la refuser à l'explication à donner des expériences de Buys Ballot, Scott Russel, Mach et

---

[1]) p. 147.

autres, qu'on apporte à l'appui des vues de Doppler; mais ces expériences n'ont rien à faire avec la théorie de la transmission instantanée de la vibration de la source au milieu et du changement de longueur de l'onde, théorie qui est encore aussi dépourvue de preuves et de fondement que le jour où elle a pris naissance.

24. Après les développements où je suis déjà entré, on prévoit facilement quelle doit être l'explication vraie de ces expériences sur les voies ferrées. Tout comme le tuyau à anche de M. Mach, les instruments employés pour produire le ton, savoir des instruments à vent, expulsent, principalement aux instants de l'écart maximum de l'anche, des quantités d'air relativement assez grandes, — à peu près de la même manière que, dans la sirène de Seebeck, on lance un volume d'air, au moyen d'un tuyau de plume, à travers la petite ouverture qui passe devant lui; cette expulsion d'air est d'autant plus considérable que la vibration de l'anche a une amplitude plus grande. Les particules de ces volumes d'air ont des vibrations propres, tout à fait arbitaires, par lesquelles la poussée sommatoire ou l'impulsion de condensation progresse, à la façon du cercle produit à la surface de l'eau par la chute d'un caillou. Il est probable que les vibrations ainsi excitées sont très diverses et de durées très différentes, comme cela est le cas partout où de l'air vient se briser contre un bord tranchant; ces vibrations peuvent bien persister pendant un temps fort court, mais très certainement elles ne fourniront pas à l'oreille ou à quelque autre objet une seconde impulsion intégrale de condensation, parce que les croupes de leurs ondes se séparent aussitôt entre elles, par suite de la différence de longueur de ces ondes. L'anche, en sa qualité de bord tranchant, contribue ici à exciter ces vibrations; elle peut même très bien y faire une place prépondérante au ton dans lequel elle vibre, mais, pour l'explication du phénomène, cela est entièrement indifférent.

Ces expulsions d'assez grands volumes d'air ont lieu suivant un rhythme marqué par le ton de l'instrument, et les points de l'espace d'où elles partent sont réglés par le mouvement de la source. Portées, pour ainsi dire, par les vibrations, ces impulsions

de condensation arrivent à l'observateur, supposé en repos, avec la vitesse composée de la transmission des vibrations et du mouvement de la source. Si la source reste au contraire immobile, et que l'observateur soit en mouvement, les impulsions de condensation sont encore transportées par des vibrations, dont il est incertain et inutile que la durée corresponde à celle des vibrations de la source; le mouvement de l'observateur se compose de nouveau avec la vitesse de propagation de ces vibrations, et règle par conséquent la rapidité avec laquelle les impulsions atteignent l'oreille. Tout ce qui est vrai des expulsions d'air s'applique aussi aux admissions; entre les impulsions de condensation on peut donc admettre des impulsions de dilatation.

Il est évident, en outre, qu'on ne doit s'attendre à ce que les impulsions successives atteignent l'oreille à des intervalles parfaitement égaux, que si le mouvement de l'instrument ou de l'observateur a lieu précisément dans la direction de la droite qui les unit. Lorsque ces directions font un angle, l'influence du mouvement est moindre; l'accélération des impulsions, par exemple pour une locomotive arrivant de loin, diminue alors de plus en plus, et passe par zéro au moment où le véhicule traverse le pied de la perpendiculaire abaissée de l'observateur sur la direction du mouvement, pour reparaître immédiatement après avec une valeur négative, c'est-à-dire sous forme de retard. L'observateur ne doit pas non plus se trouver trop en dehors de la ligne dans laquelle la locomotive se meut, parce qu'alors, à de grandes distances, les vibrations moléculaires qui composaient les impulsions s'écartent trop les unes des autres; enfin, cela va sans dire, il faut que la distanee de la source et de l'observateur soit maintenue dans les limites convenables, pour que les impulsions n'arrivent pas trop affaiblies.

Ces impulsions, parvenues à l'oreille ou à tout autre ensemble circonscrit, y excitent par elles-mêmes, d'une manière mécanique, des vibrations fixes, qni ne se rattachent au ton fondamental de l'instrument par aucun autre lien que le rhythme de l'émission. De la formation dans l'air indéfini d'une onde courante raccourcie

ou allongée, du transport de phases isolées, de la communication instantanée de la vibration ou de sa propagation accélérée, de l'élucidation et de la solution d'un des problèmes les plus difficiles de la théorie des ondes, — de rien de tout cela il n'est ici question. Puissent ces simples remarques contribuer à dissiper les illusions des partisans de Doppler, et à les détourner de renouveler sans cesse, toujours armés de ces mêmes expériences, leurs incursions sur le domaine de la dioptrique.

§ VII.

25. C'est aux dernières dix années qu'il était réservé de voir la théorie prendre son plein essor, comme moyen d'investigation des mouvements des corps célestes, et à la suite d'une nouvelle étude du problème de l'aberration des étoiles, provoquée par la différence des valeurs assignées à la constante de cette aberration par Delambre et par Struve. Les idées les plus singulières furent alors émises concernant l'influence sur le rayon lumineux du mouvement de la source et du milieu réfringent, et l'hypothèse de Doppler, dans son application à la réfraction et à d'autres phénomènes mécaniques de la lumière, fut présentée, dans les termes les plus laconiques, comme une vérité démontrée. Il ne manqua pourtant pas de savants qui prirent la défense de la théorie si simple et si claire de Fresnel; on peut citer, entre autres, M. Veltmann. Beaucoup de ceux qui embrassèrent les opinions nouvelles se montrèrent disciples fidèles de Doppler; d'autres ne voulurent pas se contenter de son raisonnement, ou comprirent que la réfraction du rayon lumineux devait être mise en rapport avec la durée de la vibration, mais ils arrivèrent à des résultats tout aussi erronés. Personne ne songea à l'impossibilité de la propagation d'une simple impulsion, privée de centre; et aux conséquences que cette impossibilité entraîne nécessairement. Le plus surprenant, dans tout cela, c'est que, même en Allemagne, on semblait ne plus connaître les travaux de M. Petzval, et pourtant, à mon avis, son étude analytique du problème vaut mieux que tout ce qui à été écrit postérieurement sur le même sujet.

Dans l'ordre historique, je citerai ici les Mémoires de MM. Klinkerfues[1]), Sohncke[2]), Clerk Maxwell[3]), Veltmann[4]) et Ketteler[5]), pour ne pas parler des remarques faites incidemment par d'autres.

26. Parmi les auteurs que je viens de nommer, M. Klinkerfues et M. Sohncke se sont occupés de la manière dont la vibration fixe de la source lumineuse en mouvement de translation est transmise au milieu. M. Klinkerfues paraît avoir reconnu que les impulsions différentielles, exercées par cette vibration primaire sur le milieu, doivent y exciter, chacune individuellement, une vibration spontanée[6]); mais, — chose assez inattendue, — il ajoute que

[1]) *Aus mehreren Briefen des Hernn Prof. Dr.* W. Klinkerfues *an den Herausgeber*, *Astron. Nachr.*, B. LXV, p. 17. 1865.

Untersuchungen aus der analytischen Optik, insbesondere über den Einfluss der Bewegung der Licht-Quelle auf die Brechung. Ibid. B. LXVI, p. 337. 1866.

Versuche über die Bewegung der Erde und der Sonne im Aether. Ibid. B. LXVII, p. 33. 1870.

Die Aberration der Fixsterne nach der Wellentheorie. Leipzig, 1867.

C. Briot, *Mathematische Theorie des Lichtes.* Uebersetzt und mit einem Zusatz vermehrt. Leipzig, 1867.

Ergebnisse der Spectral-Analyse in Anwendung auf die Himmelskörper, von W. Huggins. Deutsch mit Zusätzen. Leipzig, 1868.

Dans cette énumération manquent quelques Notices insérées aux *Gött. gelehrt. Anz.*, et que, pas plus que la traduction de l'onvrage de Briot, je n'ai sous la main.

[2]) *Ueber den Einfluss der Beweguug der Licht-Quelle auf die Brechung.* Kritische Bemerkungen zu der Entdeckung des Herrn Prof. Klinkerfues. *Astron. Nachr.* B. LXIX, p. 209. 1867, et Poggend. *Annalen.* B. CXXXII, p. 279. 1867.

[3]) *On the influence of the motion of the heavenly bolies on the index of refraction of light.* Phil. Transact. for 1868, B. CLVIII, p. 532. 1869. C'est une Note écrite à la prière de M. Huggins et ajoutée à un Mémoire de ce dernier, sur lequel nous reviendrons plus tard.

[4]) Fresnel's *Hypothese zur Erklärung der Aberrations-Erscheinungen*, *Astron. Nachr.* B. LXXV, p. 145. 1870.

Ueber die Fortpflanzung des Lichts in bewegten Medien. Ibid. B. LXXVI, p. 129. 1870.

[5]) *Ueber den Einfluss der astronomischen Bewegungen auf die optischen Erscheinungen.* Poggend. *Annalen*, B. CXLIV, p. 109, 287, 363 et 550. 1871. B. CXLVI, p. 406. 1872, B. CXLVII, p. 404 et 478. 1872, et B. CXLVIII, p. 435. 1873.

[6]) *Astron. Nachr.* B. LXVI, p. 343, note.

chaque impulsion différentielle imprime au mouvement de la molécule d'éther le caractère et la période de la vibration de la source primaire.

Pour transmettre à l'éther la vibration de la source primaire en repos, voici comment il s'y prend analytiquement. Sur chaque molécule d'éther, qui se trouve à l'intérieur de la sphère remplie de vibrations et n'est pas au voisinage immédiat de la surface (la surface générale des ondes), agissent après le temps t un nombre infini d'ondes d'une amplitude infiniment petite. Pour l'élongation ou l'écart de cette molécule d'éther, après le temps t, il trouve alors une somme de différentielles, dont la forme générale est:

$$dy_n = a_{t-nd\mathrm{T}} \; sin\, nd\,\mathrm{T}.\, d\,\mathrm{T}.$$

Il suppose, en effet, que ces ondes d'amplitude infiniment petite, partant, par exemple, de points de plus en plus rapprochés, — commencent à agir sur la molécule d'éther chacune à un moment différent. C'est ainsi que l'onde $n^{ième}$ commence à agir sur la molécule à l'instant $t - nd\,\mathrm{T}$; elle a donc maintenant, après le temps t, pour la molécule atteinte, la phase $nd\,\mathrm{T}$, et excite avec l'amplitude $a_{t-nd\mathrm{T}}$ l'élongation différentielle dy de la molécule.

Pour la somme de ces élongations différentielles de la molécule d'éther, c'est-à-dire pour l'élongation totale après le temps t, on a alors l'integrale:

$$y = \int_0^{2\pi} a_{t-\mathrm{T}} \; sin\, \mathrm{T}\, d\,\mathrm{T}.$$

A la place de $a_{t-\mathrm{T}}$ M. Klinkerfuss substitue maintenant l'écart ou l'élongation de la source primaire à l'instant $t - \mathrm{T}$, savoir $c'\, sin\, (t - \mathrm{T})$, et il trouve:

$$\int_0^{2\pi} c'\, sin\, (t - \mathrm{T}) \; sin\; \mathrm{T}\, d\,\mathrm{T} = c'\, \pi\, cos\, t.$$

Il obtient donc ainsi, sous une forme convenable, pour la source en repos, la transmission de la vibration avec sa période inaltérée.

Pour expliquer ensuite la transmission de la vibration de la source en mouvement, il dit: le mouvement de la source lumineuse introduit cette modification, que les impulsions excercées par elle parviennent à la molécule d'éther après des intervalles qui sont raccourcis dans le rapport $\frac{v-g}{v}$, comme il est facile de le voir; v est ici la vitesse de propagation de la vibration courante et g la vitesse de translation de la source.

Au lieu de $a_{t-T} = c' \sin (t - T)$ il prend donc $a_{t-T} = c' \sin \frac{v}{v-g} (t - T)$, et — tout est trouvé.

Je me borne à cette courte analyse du Mémoire principal de M. Klinkerfues; je l'ai donnée uniquement parce qu'il m'a semblé qu'on trouvait aussi chez lui une indication de ce principe, que chaque impulsion différientielle se traduit toujours par des vibrations.

D'un seul coup, „comme il est facile de le voir", toutes les difficultés sont écartées; malheureusement, l'impossibilité de la propagation stable d'une impulsion différentielle qui est privée de son centre par le déplacement de la source a été complétement perdue de vue.

27. Les singuliers résultats auxquels parvient M. Klinkerfues se trouvent discutés dans le Mémoire de M. Sohncke[1]). Ce savant, dans ses efforts pour démontrer clairement ce qui d'après M. Klinkerfues est si facile à voir, n'est pas plus heureux. Lui non plus ne sent pas que la propagation stable d'une phase, dont le centre se déplace dans l'entre-temps, est une impossibilité physique, et conduirait en outre aux conséquences les plus incongrues pour tout rayon lumineux autre que celui qui coïncide avec la direction du mouvement de la source. A M. Sohncke aussi il paraît avoir échappé que l'idée de la propagation d'une impulsion ou d'un déplacement élémentaire a pris naissance par une véritable *ignoratio elenchi*: on s'est représenté l'impulsion comme une onde de très petite longueur, et on a cru que cela suffisait. Mais une onde a une

---

[1]) Poggend. *Annalen*, B. CXXXVII, p. 290.

croupe et une dépression; il pourrait donc très bien arriver, abstraction faite de l'impossibilité susdite, que la dépression d'une impulsion différentielle courante interfère avec la croupe d'une impulsion suivante, et alors toute la vibration prétenduement reconstruite, avec son onde raccourcie ou allongée, s'écroule comme un château de cartes.

En résumé, voici ce qui ressort clairement de la lecture des Mémoires précités: on ne doute plus de la propagation des impulsions différentielles privées de centre, et en ajoutant à la vitesse de propagation de la vibration, qui leur est attribuée tout à fait arbitrairement, la vitesse de translation de la source, on obtient le raccourcissement ou l'allongement de la durée périodique de la vibration courante. Sauf M. Veltmann, tous les auteurs ont admis cette manière de voir et ont ainsi converti les poussées d'onde accélérées de Doppler en vibrations raccourcies. Tel a été le résultat de trente années d'études critiques; la balle légère lancée par Doppler est retombée avec la force d'une avalanche.

28. Mais la dernière période décennale a enfin aussi fourni des recherches qui confirment entièrement l'explication simple que j'ai donnée du changement observé dans le ton. M. Alfred Mayer [1]), aux Etats-Unis, a montré qu'un diapason fixe, dont la tonalité ne diffère que de deux ou trois vibrations par seconde de celle d'un autre diapason, se met de suite à vibrer avec lui, quand ce dernier se rapproche ou s'éloigne avec une vitesse telle que le rhythme des condensations et dilatations qu'il envoie au diapason fixe s'accorde exactement avec la tonalité de celui-ci. Réciproquement, si deux diapasons ont tout à fait la même tonalité, et que l'un d'eux soit mis en mouvement, celui-ci perdra par là immédiatement le pouvoir de communiquer son état de vibration au diapason fixe, parce que le rhythme des condensations et dilatations qui parviennent à ce dernier ne concorde plus avec

---

[1]) *Akustische Versuche zum Erweise, dass die Wellenlänge eines sich fortbewegenden schwingenden Körpers verschieden ist von derjenigen welche derselbe vibrirende Körper ohne Ortsveränderung hervorbringt*. Poggend. *Annalen*, *B*. CXLVI, p. 110; 1872.

celui qu'il produirait lui-même s'il entrait spontanément en vibration. Une meilleure preuve expérimentale en faveur de mon explication ne saurait guère être désirée. En effet, l'ensemble circonscrit et capable d'exécuter des vibrations fixes, sur lequel agissent les impulsions de condensation et de dilatation, ou, si on l'aime mieux, les masses d'air au moment de leur plus grande vitesse, — cet ensemble, que chez l'oreille j'avais pour ainsi dire encore dû chercher dans la cavité et la membrane du tympan, — il se trouve ici complétement réalisé par le diapason, qui ne peut vibrer que dans son ton fondamental ou dans des tons très supérieurs. A coup sûr, on ne prétendra pas que ces expériences, d'une exécution si soignée et de résultats si clairs, prouvent le moins du monde que la période de la vibration communiquée à l'air ambiant par le diapason en mouvement soit altérée, ou que les ondes sinusoïdales qui en résultent soient allongées ou raccourcies. Et pourtant, voilà ce qui devrait arriver pour que de ces expériences on pût conclure, par analogie, que les raies de Fraunhofer se déplacent dans le spectre quand la source lumineuse est en mouvement. Si donc M. Mayer [1]) croit avoir rendu ce déplacement probable, je réponds, sans hésitation: non; s'il pense que dans ces conditions la teinte d'un rayon lumineux homogène est modifiée pour l'œil, je réponds, sans vouloir trancher la question, que cela est peu probable et d'ailleurs en dehors des limites de l'expérience.

Ces expériences de M. Mayer sont une extension d'expériences antérieures de M. König [2]), auxquelles on avait attaché une grande importance et qui, en réalité, mettent de nouveau dans le jour le plus éclatant l'exactitude de mon explication.

De deux diapasons parfaitement isochrones, l'un reçoit un

---

[1]) l. c., p. 112.

[2]) Voir Ketteler, *Astron. Undulationslehre*, Bonn, 1873, p. 24; et Mach, *Beiträge zur Dopplerschen Theorie*, Prag, 1874, *Zusatz*, p. 34.

Je n'ai eu connaissance de ces deux écrits que lorsque mon Mémoire avait déjà paru, en hollandais, dans les *Verslagen en Mededeelingen der Kon. Akademie van Wetenschappen*, Amsterdam.

mouvement régulier en avant ou en arrière; on observe alors des battements, dont le nombre dépend de la vitesse du diapason déplacé, précisément comme l'exige le raisonnement de Doppler. A cela rien d'étonnant, car nous avons ici de nouveau des condensations et des dilatations agissant sur l'oreille; le rhythme de celles qui émanent du diapason en mouvement étant changé, les condensations de l'un des diapasons sont, par rapport à celles de l'autre, comme les divisions du vernier par rapport à celles du limbe gradué; il n'y a donc aucun doute que l'oreille, où tantôt elles coïncident et tantôt elles sont séparées autant que possible, percevra le phénomène bien connu des battements.

La manière la plus simple d'exécuter cette expérience, c'est de mouvoir l'oreille, ou un résonnateur auquel elle est reliée par un tube en caoutchouc, dans la ligne qui joint les deux diapasons, laissés en place [1]); l'effet du mouvement est alors doublé, parce que, en même temps qu'on se rapproche de l'un des diapasons, on s'éloigne de l'autre.

29. M. Mach fait à cette expérience une très curieuse addition: „Si," dit-il, „à l'une des branches d'un grand diapason on colle une allumette, qu'on laisse plonger pendant les vibrations dans une cuve à mercure octogone, au voisinage du bord, on voit apparaître à la surface du mercure une belle figure d'interférence, composée de stries hyperboliques, et due aux ondes directes et réfléchies. Lorsqu'on déplace le diapason, la figure se déforme et se déplace." Ceci montre de nouveau que la poussée d'onde résultante s'avance avec la source à la surface du liquide, fait que personne ne révoque plus en doute; mais il ne s'ensuit nullement que la vibration élémentaire, exécutée par des myriades de particules mercurielles, ait changé de période; l'expérience n'a pas cette portée; au contraire, elle prouve que la vibration est communiquée sans altération, puisque, sans cela, d'après les lois de la mécanique, aucun mouvement ondulatoire régulier des particules ne pourrait prendre naissance.

M. Mach dit ensuite: „L'analogue optique de l'expérience de

[1]) Ketteler, p. 27.

König et de celle que je viens de décrire est connu depuis longtemps. Si devant l'objectif d'une lunette dirigée sur une fente éclairée on place une fente double, et devant celle-ci un compensateur de Jamin, disposé de façon que la ligne de séparation des deux plaques tombe sur l'intervalle de la fente double, on voit les minima de seconde classe se déplacer quand on tourne le compensateur. Les deux parties de la fente double sont ici deux sources lumineuses, qui produisent entre elles des battements, parce que le chemin de l'une d'elles, jusqu'à un point du plan focal de la lunette, est continuellement changé par l'introduction continuelle d'une nouvelle épaisseur de verre. Le phénomène peut aussi être interprété comme un simple déplacement d'une figure d'interférence.

Je cite cette expérience parce qu'elle montre que le principe de Doppler, à proprement parler, n'est pas un principe nouveau.

Cette expérience optique est en elle-même très claire; mais son analogie avec l'expérience acoustique n'est pas grande. Celle-ci dépend d'un allongement ou d'un raccourcissement continuel du chemin de la source vibrante au point où le phénomène se produit; celle-là dépend, comme beaucoup d'autres phénomènes optiques, d'un changement dans le temps mis à parcourir le même chemin; en outre, je ne comprends pas bien comment, dans l'expérience optique, on peut parler de *battements*, qui dénotent une divergence des hauteurs de deux tons, tandis qu'ici les ondulations interférentes ont même longueur. Il en est ici comme en mainte autre circonstance, où se vérifie l'aphorisme: *comparaison n'est pas raison.*

Qu'il faille tirer de cette expérience la conclusion que le principe de Doppler n'est pas un principe nouveau, c'est ce qu'on ne saurait admettre. Car Doppler veut que par le mouvement de la source la hauteur du ton et la couleur de la lumière soient modifiées, et ses successeurs veulent même que la vibration de la source soit communiquée au milieu ambiant avec une période allongée ou raccourcie; or ni l'une ni l'autre de ces idées ne viendra sans doute à l'esprit de personne en analysant l'expérience

optique dont il est question. Si l'on a en vue autre chose, on doit indiquer nettement la signification qu'on veut attacher à ces mots „principe de Doppler," et s'en tenir à ce qui découle directement de l'expérience. On en viendra alors aux limites étroites dans lesquelles se restreint mon explication des expériences acoustiques; je n'aurai plus d'objections à faire, mais alors aussi on devra renoncer à appliquer le principe à l'analyse spectrale du ciel.

§ VIII.

30. Je prends ici congé de mes prédécesseurs et vais maintenant parler en mon propre nom.

Antérieurement [1]) j'ai déjà cherché à maintenir les droits et la valeur de l'hypothèse de Fresnel en ce qui concerne son application aux phénomènes de diffraction. La question de la différence entre les constantes de l'aberration données par Delambre et par Struve [2]) est, il est vrai, encore pendante; mais il me paraît certain que la solution sera trouvée dans l'observation, et non dans la théorie.

Essayons maintenant de ramener la science de la voie fausse dans laquelle, à mon avis, elle a été engagée. Conformément à ce qui a été dit à l'art. 5, je suppose ici l'éther de la densité normale en repos dans l'espace.

L'hypothèse de Fresnel contient probablement l'expression de la vérité; elle me suffit encore pleinement, en tenant compte du dernier travail de M. Veltman, pour expliquer comment la réfraction ou, pour mieux dire, la déflexion que le rayon lumineux éprouve de la part d'un milieu réfringent, reste tout à fait indépendante du mouvement de ce milieu. Sans doute, et c'est là le point faible de l'hypothèse [3]), elle exigerait, au point de vue de

---

[1]) *Sur l'influence que le mouvement de la Terre exerce sur les phénomènes de diffraction. Archives du Musée Teyler*, Vol. III, p. 72.

[2]) Voy. aussi: Hoek, *Recherches astronomiques de l'Observatoire d'Utrecht, première livraison. De l'influence des mouvements de la Terre sur les phénomènes fondamentaux de l'optique dont se sert l'astronomie*. 1861.

[3]) *Astron. Nachr.*, B. LXXV, p. 160.

l'interprétation physique, que l'entraînement de l'éther par le milieu réfringent se fît dans une mesure variable suivant la période de vibration de la couleur; mais M. Veltmann lui-même [1]) a déjà montré qu'à l'entraînement variable de l'éther on n'a qu'à substituer un entraînement variable des ondes lumineuses, pour que l'explication du phénomène soit remise dans la bonne voie. Pour le moment, je ne m'occupe pas de savoir quel est le sens physique de cette explication mathématique. La mécanique nous laisse encore ici dans l'ignorance; peut-être prouvera-t-elle un jour que c'est la pression exercée par le milieu matériel en mouvement sur l'éther immobile au sein de l'espace qui produit ce déplacement ou entraînement variable des ondes lumineuses.

Plus haut, à l'art. 5, j'ai déjà noté qu'un entraînement éventuel de l'éther ambiant par la source lumineuse déplacée ne faciliterait pas, dans ma manière de voir, l'explication de la propagation de la vibration inaltérée. En effet, le cas extrême, celui où la source et l'éther ambiant se déplacent ensemble, serait sous ce rapport, conformément au résultat obtenu par M. Petzval dans son premier Mémoire, en apparence le plus favorable de tous; mais la difficulté consisterait alors à prouver que la vibration courante se transmet, sans raccourcissement, d'une portion déplacée du milieu à une portion en repos.

31. Tout ce que j'ai à dire se résume, en effet, dans le principe *de la conservation de la période de vibration et de la longueur d'onde vraie, lors de la transmission entre la source déplacée et l'éther, et dans la propagation jusqu'au milieu réfringent;* l'éther étant, je le répète, supposé en repos.

Je prends pour base de mon raisonnement les points suivants, que tous les physiciens accorderont sans doute volontiers: 1°. la source vibratoire n'est pas un point mathématique, mais a indubitablement une certaine extension physique; 2°. cette source vibratoire limitée doit être conçue, ainsi que l'ai déjà indiqué à l'art. 5, et d'après tout ce que nous savons des corps qui émettent des

[1]) *Astron. Nachr.*, B. LXXVI, p. 143.

tons, comme composé d'un grand nombre de molécules, qui vibrent toutes dans des orbites semblables et parallèles, et dont des masses entières se trouvent au même instant dans la même phase, c'est-à-dire, ont la même anomalie; sur les lignes ou les surfaces nodales éventuelles, cette vibration devient tout à fait nulle, pour reparaître peu à peu, avec un saut d'une demi-circonférence dans la phase, à l'autre côté du nœud; 3°. la sphère d'action directe d'une molécule en état de vibration fixe n'est pas bornée aux molécules du milieu immédiatement voisines, mais s'étend bien certainement encore un peu au-delà.

Sauf peut-être M. Klinkerfues, tous ceux qui se sont occupés de la question l'ont envisagée trop exclusivement à un point de vue abstrait; ici, au contraire, elle sera traitée d'une manière purement concrète.

32. Une molécule animée de vibrations fixes, isolée, infinement petite et capable d'action directe seulement sur les molécules du milieu immédiatement voisines, ne saurait, si elle se déplace, transmettre sa vibration au milieu intégralement, c'est-à-dire comme un tout, ni avec conservation de la période, ni avec allongement ou raccourcissement, aussi longtemps que le milieu ne partage pas complétement son mouvement de translation. Il ne peut être question, comme nous l'avons déjà dit au § I, d'admettre, comme effet de ce mouvement, un simple allongement ou raccourcissement de la période de la vibration transmise; toutes les impulsions différentielles doivent s'éparpiller, — c'est là le résultat de l'abstraction poussée trop loin, — en vibrations spontanées de périodes inconnues. Dans le cas seulement où la molécule vibrante primaire et le milieu se déplacent ensemble avec la même vitesse, la vibration est transmise intégralement, mais alors aussi avec une période complétement inaltérée; nous rencontrons ici M. Petzval, avec sa démonstration de la conservation de la durée de vibration dans un milieu entraîné par un courant uniforme.

Supposons maintenant, en premier lieu, que la sphère d'action directe de la molécule vibrante primaire s'étende plus loin que les molécules du milieu immédiatement voisines, — ce qui est

entièrement conforme à ce qu'on admet pour toutes les autres manifestations de la force; — nous pouvons alors très bien nous représenter, pour la lumière par exemple, une sphère d'action d'un rayon tel que, pour toutes les vitesses connues de translation de la source et pour la durée connue des vibrations, les molécules du milieu qui sont influenceés les premières restent pendant une ou plusieurs vibrations complètes sous l'influence directe de la molécule vibrante primaire, malgré le déplacement de celle-ci, et qu'en conséquence elles recueillent les vibrations directement de la source, pour la propager en tous sens dans l'éther indéfini.

La vitesse de l'étincelle électrique entre deux fils polaires est, par exemple, évaluée à $^1/_{1000}$ de la vitesse de propagation de la lumière, et la vitesse de la Terre dans son orbite est environ $^1/_{10000}$ de cette même vitesse de propagation; la longueur d'onde de la raie D est 0,000589537 mm. Pendant la durée d'une vibration entière, la molécule vibrante primaire se déplace donc, dans l'étincelle électrique, de $^1/_{1700000}$ mm., et elle se déplacerait d'une quantité encore dix fois moindre si elle était simplement entraînée par la Terre. Il suffit ainsi d'attribuer de très petites valeurs au rayon de la sphère d'action directe, pour faire que la molécule vibrante primaire continue pendant dix ou cent vibrations son action sur un grand nombre de molécules de l'éther ambiant qu'elle laisse successivement derrière elle, et pour transformer toutes ces molécules en autant de centres d'où les dix ou cent vibrations se propagent dans ce milieu.

En résumé, tout autour de la source (la molécule vibrante primaire), les molécules les plus rapprochées de l'éther ambiant prennent, sans altération de la période, une première vibration, laquelle est encore suivie, en enchaînement parfait, d'autant d'autres vibrations qu'il peut s'en communiquer durant le temps que les molécules restent sous l'influence directe de la source déplacée. A mesure que ce déplacement s'opère, de nouvelles molécules de l'éther ambiant reçoivent successivement le mouvement vibratoire, qui pour elles, toutefois, commence de plus en plus tard;

pour chaque molécule qui est ainsi envahie par la vibration, celle-ci abandonne, du côté opposé, une autre molécule, qui tombe en dehors de la sphère d'action de la source transportée en avant. Chaque droite qui rayonne de cet assemblage, n'importe dans quelle direction, se charge de séries plus ou moins grandes de vibrations courantes enchaînées, séries dans lesquelles le point de départ change de l'une à l'autre.

33. Mais la source vibratoire n'est pas un simple point. Considérons, pour nous en tenir au cas le plus défavorable, la vapeur métallique lumineuse lancée par les électrodes; prenons-en une masse dans des limites telles, que soit ses propres molécules soit les molécules de l'éther renfermé exécutent des vibrations fixes concordantes, et à la source lumineuse ainsi définie donnons une dimension de $^1/_{1000}$ mm. dans la direction de son mouvement de transport; nous avons alors la possibilité de voir émaner d'une même molécule de l'éther en repos jusqu'à 1700 vibrations courantes de période et aussi d'amplitude inaltérée. En effet, malgré le déplacement rapide de la source, un même point fixe de l'éther ambiant reste maintenant sous son influence pendant 1700 vibrations, et cela, sans qu'il soit même question du rayon de la sphère d'action directe.

Entendons-nous bien: les molécules lumineuses, qui forment p. e. une particule de vapeur, doivent vibrer toutes à la fois, avec la même période, dans des orbites semblables et parallèles, et en outre se trouver toutes ensemble dans la même phase; si ces conditions, que nous admettons pour toute source animée de vibrations fixes, n'étaient pas remplies, l'action exercée sur l'éther en repos par la molécule primaire qui arrive ne pourrait pas continuer, sans trouble, l'action de la molécule qui part. Pour une vitesse plus petite de la source, telle que celle de la Terre, le nombre de ces vibrations, qui émanent absolument du même point de l'espace, deviendrait encore dix fois plus grand. Quant à l'amplitude des vibrations des molécules, dans toutes les sources connues de vibrations fixes (savoir pour le son), elle reste sur des étendues relativement grandes assez sensiblement égale pour

que nous n'ayons pas à nous occuper ici de ses variations.

Peut-être parviendra-t-on plus tard à vérifier, par une sorte d'*experimentum crucis*, l'explication que je viens de donner; il suffirait, pour cela, de s'assurer si les expériences de M. Fizeau sur l'interférence avec de grandes différences de chemin, qui exigent un grand nombre de vibrations parties successivement du même point de l'espace, réussissent aussi bien avec la lumière de l'étincelle électrique qu'avec la lumière émise par d'autres sources, spécialement quand le rayon suit la direction du mouvement de la source.

34. Pour ce qui concerne la manière dont les vibrations de la source lumineuse sont transmises à l'éther ambiant, et la manière dont les choses se passent aux surfaces limites, voici l'idée que je m'en fais. Chaque molécule lumineuse de la source lance en tous sens dans l'éther ses vibrations courantes, que les molécules de l'éther de la source même, rangées autour d'elle et exécutant peut-être les vibrations fixes, transmettent sans altération, d'après le principe de la superposition des petits mouvements, jusqu'aux surfaces limites, où elles passent à l'éther libre. La similitude et le parallélisme des orbites de toutes les molécules vibrantes primaires contribuent sans doute beaucoup à rendre la superposition facile; la différence de phase et peut-être aussi la différence d'amplitude, entre la vibration fixe dont une molécule est déjà animée et la vibration courante qui s'y superpose, deviennent seules plus grandes à mesure que la molécule considérée est située plus près des surfaces limites et nodales.

Si donc la particule lumineuse, foyer circonscrit de vibrations, possède un mouvement de translation, alors, à raison de la multitude des molécules dont elle se compose, la place de chaque molécule emportée est immédiatement prise par une autre, qui remplit exactement le rôle de centre d'émission joué par la première. L'amplitude seule de la vibration changera graduellement dans cette source d'une molécule à l'autre, et sera par conséquent aussi sujette à de petites variations dans la vibration courante. A l'endroit précis des lignes et des surfaces nodales, si elles

existent, se produirait un écart de phase d'une demi-circonférence, par suite duquel une seule vibration courante deviendrait impossible; mais comme, sur ces lignes ou ces surfaces et dans leur voisinage, l'amplitude de la vibration est égale à zéro, nous n'avons pas à en tenir compte ici. Peut-être toutefois, en cas d'existence de pareils nœuds, avons-nous à attendre, après chaque suite de milliers de vibrations d'une intensité progressivement croissante et décroissante, un écart de phase d'une demi-circonférence dans le rayon lumineux.

Selon ma manière de voir, malgré le déplacement de la source, les impulsions différentielles transmises à l'éther trouvent donc toujours, dans le point même d'où elles sont parties, l'appui continu dont elles ont besoin pour leur propagation intégrale. Peu importe que la molécule de la source, qui donne cet appui, change d'instant en instant, pourvu seulement qu'au moment voulu il en parte juste la phase ou l'impulsion convenable. Ne sommes-nous pas habitués, dans la théorie des ondes, à considérer séparément le mouvement et la molécule qui en est le support? L'onde progresse; mais les molécules qui la portent ne participent pas à cette progression.

§ IX.

35. Comparons maintenant en quelques points ces vues concrètes avec celles de mes prédécesseurs.

Si l'on se représente la constitution d'une source lumineuse et son mode d'action comme nous venons de le dire, il n'est nullement nécessaire de donner de grandes dimensions à la masse des molécules qui vibrent simultanément, avec la même période, dans des orbites semblables et parallèles, ni d'attribuer un rayon appréciable à la sphère d'action de ces molécules, pour que, même avec un déplacement assez rapide de la source, des milliers de vibrations courantes, d'intensité presque constante, puissent encore être transmises du même point de l'espace à l'éther indéfini. En outre, ce n'est alors pas un point unique de cet éther, ce sont des milliers de points qui constituent simultanément de pareils centres,

d'où partent, exactement au même instant, ces vibrations concordantes en phase et en durée. — Un rayon de lumière homogène est pour moi un ensemble complexe; à chaque instant arrivent en chaque point une multitude de vibrations à phases et amplitudes différentes, qui, conformément au principe de la superposition, conservent toutes une existence indépendante; et l'intensité du rayon est l'intensité totale de toutes ces vibrations, en tant qu'elles ne se contrecarrent pas par interférence. — A mesure que la source avance, des centres de vibrations se perdent en arrière et d'autres se forment en avant. Composons par la pensée toutes ces ondes ou vibrations en une seule; nous obtenons alors une onde ou poussée d'onde résultante, qui, si la source restait en repos, avancerait avec la vitesse de propagation ordinaire et aurait ses croupes à la distance normale, mais qui maintenant change continuellement d'anomalie, et chemine le long du rayon non-seulement avec la vitesse normale de propagation, mais, de plus, avec la vitesse de la source; par là, ses croupes se succèderont plus vite, précisément comme les poussées d'onde de Doppler. En arrière, par contre, les croupes s'écarteront davantage, suivant la même loi. Mais toutes ces vibrations, que chaque molécule d'éther située sur le rayon exécute à la fois, qui se traduisent en sinusoïdes, et qui sont et restent tout à fait indépendantes les unes des autres, conservent invariablement la même longueur d'onde et la même période. — Je nie formellement qu'il soit permis de regarder ces vibrations comme fondues en une vibration unique résultante, parce que l'anomalie et l'amplitude de cette vibration résultante changeraient d'instant en instant. — Tout ce que je viens de dire par rapport au renouvellement continu des centres de vibration, n'a cependant de signification absolue que pour le rayon visuel qui coïncide avec la direction de translation de la particule lumineuse; pour toutes les autres directions, il dépend de la forme de cette source et de ses dimensions perpendiculaires à la direction de translation, si l'on peut encore parler d'un tel renouvellement continu.

Une partie de la force vive de la source s'éparpillera probable-

ment en vibrations spontanées, et se dissipera sous forme de lueurs indéterminées. On peut même concevoir un déplacement assez rapide pour que toute lumière primaire cesse de nous arriver, non, comme le dit quelque part M. Petzval, parce que la longueur d'onde deviendrait infiniment petite, mais parce qu'aucune molécule de l'éther en repos ne serait plus capable de recueillir intégralement la vibration primaire de la source. Si l'on se refusait à admettre la transmission de la vibration sans changement de période, telle que j'ai essayé de l'établir, je contesterais hardiment, de mon côté, qu'aucune autre vibration d'une durée déterminable d'avance, comme le veulent MM. Petzval, von Ettingshausen, Klinkerfues, etc., puisse être transmise à l'éther; cette opinion, je suis persuadé que je ne serais pas seul à la soutenir.

La même complexité que le rayon présente dans le cas du mouvement de la source, il la possède aussi déjà, à certains points de vue, dans le cas du repos. Avec ces rayons lumineux composés, tous les phénomènes qui font appel à la durée des vibrations élémentaires, ceux d'interférence, de diffraction, de réflexion, de réfraction, etc., resteront d'ailleurs, j'en ai la certitude, également faciles à expliquer, soit que la source demeure fixe, soit qu'elle se déplace.

D'autres causes que celles signalées jusqu'ici peuvent contribuer à donner cette complexité au rayon; je crois, en effet, que la matière lumineuse déplacée laisse encore, après son départ, l'éther dans un état de vibration fixe pendant une courte durée. La première de mes raisons, c'est qu'il est difficile de comprendre comment cet éther abandonné, qui, d'après Fresnel, vient de sortir de la source lumineuse, pourrait retomber instantanément, en ce qui concerne sa vibration, dans un repos absolu. Ma seconde raison, d'une nature plus expérimentale, c'est que l'œil a indubitablement besoin, pour donner naissance à une perception, de plusieurs vibrations successives parties du même point; or, si la masse animée de vibrations fixes concordantes se meut, par exemple, dans une direction perpendiculaire au rayon visuel, elle change à chaque instant de place pour l'œil, et néanmoins nous la *voyons* en chaque

point de sa route. Dans le cas où la masse a une certaine étendue, cela est sans doute déjà suffisant pour qu'une multitude de vibrations émanent d'un même point mathématique de la route parcourue; mais si ces dimensions étaient très petites, l'augmentation du nombre de ces vibrations, par l'espèce d'action consécutive que je viens d'indiquer, pourrait devenir nécessaire.

36. Grâce à ces vibrations plus ou moins nombreuses, qui pour moi peuvent émaner d'un même point de l'éther en repos dans l'espace, je ne suis donc arrêté par aucune difficulté dans le cas où le mouvement de la source lumineuse est perpendiculaire au rayon visuel ou fait un certain angle avec lui; précédemment j'avais déjà pu conserver à la vibration sa même période, et maintenant la normale de la surface d'onde conserve aussi, au moins pour un instant, une direction constante. Voyons, d'un autre côté, comment Doppler, Petzval etc. se tireraient d'affaire en pareil cas; n'oublions pas surtout que *voir* est tout autre chose qu'*entendre*, et que dans le premier de ces actes il y a encore à considérer, outre la vitesse de vibration, un autre élément, à mon avis beaucoup plus important, savoir, la direction sus-dite de la normale à la surface d'onde, qui détermine la place de l'image sur la rétine. En admettant même, pour un instant, que par l'accélération de la poussée d'onde la couleur puisse s'élever, je voudrais savoir comment Doppler définirait la direction lorsque la source, qui peut d'ailleurs comme dans le cas de l'étincelle électrique être très rapprochée, se meut par exemple sous un angle de 45° par rapport à la ligne visuelle. La question à résoudre est celle-ci: une seule poussée d'onde suffit-elle pour donner la perception de lumière, de façon que sa normale détermine la direction de la source, ou bien faut-il pour cela plusieurs vibrations parties d'un même point? A cette question Doppler pourrait difficilement répondre; car dans la première hypothèse il se met en contradiction avec ce que l'expérience rend probable, et dans la seconde l'accélération de la fréquence des poussées d'onde lui échappe pour l'élévation de la couleur. Pour bien juger l'embarras que cette question aurait suscité à Doppler, on doit se rappeler

combien l'œil est sensible au moindre changement dans la direction relative de deux sources lumineuses observées, qui se recouvraient un instant auparavant. Si, au même point de l'espace, plusieurs centaines de vibrations ou de poussées d'onde doivent émaner de l'objet lumineux pour que celui-ci soit perçu à son passage en ce point, ou bien Doppler ne le voit pas du tout, ou bien son changement de couleur s'évanouit; tandis que moi je le verrai peut-être simultanément en quelques points situés très près l'un de l'autre, ce qui ne constitue certainement pas une difficulté.

37. Considérons encore une pareille source lumineuse, et plaçons l'observateur de façon que sa ligne visuelle fasse un angle de 45° avec la direction du mouvement. Soient A et B les deux positions extrêmes que la molécule à l'état de vibration fixe occupe sur cette direction, savoir, A au commencement et B à la fin d'une seule et même vibration; nous demanderons alors à M. Petzval et à M. von Ettingshausen de quel point du milieu, de quel point de l'espace, nous devons maintenant faire partir la vibration courante raccourcie au moyen de laquelle nous voyons ce point lumineux. A coup sûr, ce ne sera pas de A; de B non plus, car dans ce cas nous aurions le même raccourcissiment de la durée de vibration que sur la direction même du mouvement. Ce sera donc de quelque point de la droite qui joint l'œil au milieu de A B, et, si nous poursuivons d'une manière conséquente le raisonnement, du point de cette droite qui est situé à la distance d'une longueur d'onde de A; tant que le carré de la vitesse de translation du point lumineux peut être négligé par rapport à la vitesse de la lumière, le raccourcissement de la longueur d'onde ou de la durée de vibration restera alors encore proportionnelle au cosinus de l'angle que la ligne visuelle fait avec la direction du mouvement de la source. Mais M. Petzval et M. von Ettingshausen savaient aussi bien et mieux que moi qu'il n'est pas permis, en matière de vibrations courantes, de faire concourir des surfaces d'onde dont les normales ont des directions différentes (autrement il faudrait renoncer au principe de Huyghens), ni par conséquent de combiner en un tout, dans l'éther indéfini, des phases qui arrivent de direc-

tions différentes, soit que l'on dirige la ligne visuelle sur le milieu de A B ou sur quelque autre point. Dans nos expériences d'interférence, il est vrai, nous faisons agir de concert des surfaces d'onde dont les normales divergent entre elles; mais alors, ou bien ces normales sont ensuite rendues parallèles par la réfraction, ou bien les phénomènes sont observés sur un écran, c'est-à-dire, dans une lumière diffuse, qui naît en quelque sorte de vibrations fixes des particules de l'écran et où les rayons interférents dispersés ont de nouveau des normales parallèles. En outre il n'y a absolument rien qui nous lie au point ci-dessus déterminé, comme origine de la vibration enroulée; nous aurions pu prendre tout autre point sur la ligne A B ou en dehors d'elle, ce qui aurait entraîné une autre valeur pour le changement de la durée de vibration. Au sujet de l'indétermination de la direction dans laquelle la source lumineuse sera vue, ce qui a été dit pour l'idée primitive de Doppler s'appliquerait encore beaucoup mieux ici; il est inutile de le répéter. En résumé, on voit donc que la théorie dite *ennoblie*, partie d'une abstraction en ce qui concerne la source lumineuse, doit maintenant faire encore abstraction de toutes les directions autres que celle dans laquelle la source se meut.

§ X.

38. *Similitudo claudicat*, dit-on; cet adage est parfaitement de saison, lorsque, pour montrer comment des chocs ou des pulsations isolées se transmettent dans un milieu élastique, homogène et indéfini, on nous cite des phénomènes tels que ceux offerts par des billes élastiques ou par les cylindres de Mach. Dans ces deux exemples, en premier lieu, il n'est question que de transmission suivant une seule ligne droite; dans un milieu homogène indéfini, au contraire, la transmission se fait d'une manière égale en tous sens, et toutes ces directions sont solidaires entre elles; en d'autres termes, les impulsions doivent ici se distribuer selon des enveloppes sphériques. Mais, ce qui est tout à fait décisif, c'est que l'impulsion, en quelque point du milieu qu'elle se trouve, doit partout se propager aussi bien en arrière qu'en avant. Si en ap-

parence, comme partie intégrante d'une vibration qui émane d'un point fixe, elle ne rétrograde pas, cela tient à la successsion régulière des autres impulsions différentielles venues du même point. Sans doute, je ne puis pas en appeler ici au retour du choc qui, dans le cas de la série de billes, a lieu après que la dernière s'est soulevée; car on m'objecterait que c'est là une conséquence de la limitation du système. Mais alors aussi il faut convenir qu'une douzaine de billes élastiques pesantes, suspendues à des cordes l'une à côté de l'autre, sont une bien singulière représentation d'un milieu élastique indéfini.

Si l'on avait considéré de plus près cette expérience des billes, on aurait remarqué, en second lieu, que la transmission visible du choc repose sur une vibration courante des molécules des billes. Enfin, à chaque point de contact entre deux billes consécutives, il s'opère, au moment de l'ébranlement, un partage de la force vive du choc, une moitié se communiquant en arrière, l'autre en avant; la première des deux billes reste au repos, précisément parce que la force vive en recul détruit l'autre moitié de la quantité de mouvement, celle que la bille avait conservée. Ces billes ne prouvent donc nullement qu'un choc isolé puisse se transmettre, sans division et suivant une seule direction, dans un milieu indéfini. La science n'a rien à gagner à des comparaisons aussi superficielles.

39. *Similitudo claudicat;* cela me fait hésiter à produire, à l'appui de mes idées, des phénomènes qui ont rapport au son. Pourtant je rappellerai, en premier lieu, les expériences mentionnées par A. Seebeck [1]), où des tons réguliers se détachent du bruit que fait le papier chiffonné entre les doigts; le froissement du papier imprime à l'air de petits chocs ou impulsions, qui se résolvent en vibrations régulières. Je rappellerai ensuite l'effet acoustique d'un coup de fouet rapide, de l'étincelle électrique, et aussi de la foudre et de la sirène, qui tous communiquent aux molécules de l'air des impulsions instantanées, lesquelles se transforment et se propagent en vibrations plus ou moins régulières. Je rappellerai

[1]) *Repertorium der Physik*, B VI, p. 26, Berlin, 1842.

encore le jouet d'enfant connu sous le nom de loup-garou, la fronde musicale de Cagniard-Latour, où les chocs successifs imprimés à l'air se convertissent très certainement en vibrations. Bref, partout où une impulsion est donnée aux molécules de l'air, celles-ci se mettent à vibrer; et la hauteur des tons, qui alors prennent souvent naissance en grand nombre, est pour sûr très difficile à déterminer d'avance, et dépendra indubitablement de la grandeur de la force vive qui était réunie dans l'impulsion, du volume de la masse d'air qui a été ébranlée du coup, et de la vitesse avec laquelle ce coup a été porté.

Je laisse ici indécise, jusqu'à un certain point, la question de savoir si notre perception du ton est déterminée par la transmission régulière de la vibration, ou bien, comme cela est très probablement le cas pour la sirène de Seebeck, par l'action purement mécanique qu'exercent sur notre oreille des impulsions de condensation ou de dilatation, lesquelles, tant qu'on s'en tient au premier choc intégral reçu à la suite de toute condensation ou dilatation survenue à une certaine distance, peuvent être apportées par un système quelconque de vibrations spontanées tout à fait arbitraires.

§ XI.

40. Pour résumer, je vais maintenant suivre, en m'appuyant sur ce qui a été dit aux § II et VIII, un rayon lumineux depuis son origine dans la source lumineuse en mouvement, à travers un prisme en mouvement, jusqu'à l'observateur en mouvement. Si l'on compare les développements du § VIII avec le résumé de la théorie de Doppler présenté à la fin de l'art. 10, on reconnaîtra que j'avais raison de donner provisoirement à entendre, à la fin de l'art. 20, qu'entre Doppler et moi, malgré la différence des points de vue, il y aurait bien encore accommodement sous certains rapports; dans le paragraphe actuel, les points de dissidence s'accuseront d'une manière plus claire.

Je ne veux pas m'appesantir en ce moment sur la nature propre de l'absorption que la lumière éprouve en traversant des vapeurs

placées sur son trajet; ce qui est certain, c'est que cette action dépend de la durée de vibration, de telle sorte que les vibrations absorbées sont précisement celles qui ont la même durée que les vibrations émises par la vapeur au moment où elle devient lumineuse.

Nous admettrons d'un autre côté, avec M. Veltmann, que la déflexion d'un rayon luminenx n'est influencée en rien par le mouvement qui entraîne le prisme avec la Terre, et que par conséquent elle aussi dépend uniquement de la durée de la vibration.

41. Représentons-nous une source lumineuse associée à une masse de vapeurs et emportée avec elle à travers l'espace, par exemple, une étoile avec son atmosphère, qui se meuvent ensemble dans la direction de l'observateur. L'étoile, ou plutôt les particules de matière ou d'éther qui occupent ou avoisinent la surface, exécutent des vibrations lumineuses fixes, qui, d'après les considérations développées aux § I et VIII, se transmettent sans altération de période à l'éther en repos; chacune des molécules vibrantes primaires émet incessamment ses vibrations vers le dehors et tend à se décharger de sa force vive sur l'éther ambiant. L'étoile, c'est-à-dire la masse lumineuse, se déplaçant dans l'espace, à une molécule vibrante primaire qui est entraînée vient se substituer la molécule suivante, qui prend pendant un instant son rôle de centre d'une vibration courante déterminée, pour être aussitôt après remplacée par une molécule nouvelle. L'éther qui occupe l'espace reste en repos, et il en est de même des centres des séries respectives de vibrations courantes, séries qui persistent aussi longtemps que par leurs centres continuent à passer des molécules de la source vibrant toutes dans des orbites semblables et parallèles, avec la même période et la même anomalie. Mais pourtant, quand tout est en marche, le système entier des centres d'où les vibrations émanent change peu à peu, et le résultat est le même que si ce système se déplaçait avec la même vitesse que l'étoile; car, bien que chacun de ces points émette successivement des milliers de vibrations complètes avant de cesser ses fonctions, il n'en demeure pas moins vrai qu'à chaque instant un de ces centres est retranché

en arrière et un nouveau ajouté en avant. Nous avons donc affaire, dans notre rayon lumineux, à de nombreuses séries de vibrations, originaires de centres qui se renouvellent ou en apparence se déplacent lentement, et par conséquent à un mouvement complexe, — une poussée d'onde composée, pour parler avec Doppler, — qui procède vers l'observateur avec la vitesse de propagation de la lumière augmentée de la vitesse de translation de l'étoile. La période de vibration reste la même, malgré le mouvement de l'étoile; et déjà l'atmosphère absorbante entraînée exige, comme tout autre milieu réfringent, que cette poussée d'onde, ou le mouvement complexe des molécules d'éther, se résolve en ses éléments, c'est-à-dire en toutes ces vibrations distinctes, de même durée ou longueur d'onde, qui se développent suivant des sinusoïdes. Cette durée ou longueur d'onde est-elle égale à celle des vibrations qu'émettrait l'atmosphère, alors les vibrations émanées de la source seront absorbées; il n'y a pas lieu de s'occuper ici du mouvement de l'atmosphère, ne fût-ce que par cette raison que, ce mouvement lui étant commun avec l'étoile, les temps des poussées d'onde ne subissent pour elle aucun changement. Quant aux vibrations qui ne concordent pas avec les siennes, la masse gazeuse les laisse passer sans obstacle.

42. Une atmosphère d'hydrogène absorbe les vibrations des trois raies de l'hydrogène. La lumière ainsi tamisée arrive alors, avec sa poussée d'onde accélérée, au prisme entraîné dans le mouvement de la Terre. Comme nous le montre si clairement, d'une autre manière, le phénomène de la dispersion des couleurs, la matière réfringente exige de nouveau la décomposition de la poussée d'onde ou, mieux encore, du mouvement complexe de la molécule d'éther, parce qu'elle ne peut avoir égard qu'à des vibrations qui suivent une sinusoïde. Le mouvement complexe se résout juste en autant de vibrations à anomalie différente qu'il y a de séries superposées dans le rayon. La réfraction ou déflexion dépend alors uniquement, suivant l'explication de Fresnel amendée par M. Veltmann, de la durée ou de la longueur d'onde de la vibration élémentaire, qui est restée intacte dans toutes les composantes. Les

raies obscures de l'hydrogène, ou plutôt les vibrations lumineuses voisines, sont donc encore réfractées exactement comme si tout était en repos. La lumière se rend ensuite à l'œil de l'observateur; admettons qu'ici la perception de la couleur soit déterminée, comme on le prétend, par la fréquence des poussées d'onde, et non par la période ou la longueur d'onde des vibrations élémentaires dont cette poussée est composée; eh bien, la lumière au pourtour des raies éteintes pourra alors avoir, par l'effet du mouvement de l'étoile, une teinte un peu modifiée, un peu avancée vers le violet; mais, en dépit de cela, la déviation mesurable des raies du spectre sera inaltérée.

43. Si la source lumineuse en mouvement n'est pas entourée d'une atmosphère absorbante, si c'est une masse émettant des vapeurs ou des gaz lumineux, — par exemple le soleil, qui expulse avec une grande vitesse de l'hydrogène incandescent, — les phénomènes, à l'absorption près, restent encore les mêmes.

La source transmet de nouveau ses vibrations, sans changement de durée, aux molécules de l'éther en repos, l'onde composée s'élance de nouveau d'un pas accéléré à travers l'espace vers l'observateur; le passage dans la substance réfringente exige de nouveau la résolution du mouvement composé en ses vibrations élémentaires, les seules dont il tienne compte; la réfraction ou déflexion de ces vibrations par le prisme interposé reste encore la même, et les raies brillantes ne subissent aucun déplacement dans le spectre. Les partisans de Doppler conservent toutefois le droit de rechercher si la teinte observée n'aurait pas éprouvé une très légère modification.

Pour simplifier, je m'en suis tenu ici à un mouvement dirigé directement vers l'observateur, et à l'hydrogène avec ses raies peu nombreuses; mais il va sans dire que le raisonnement est tout à fait général.

44. Par diverses considérations, et indépendamment de ce qui a été dit à l'art. 36, la modification de teinte, à laquelle je viens de faire allusion, me paraît elle-même encore des plus douteuses. D'abord, lorsque deux couleurs agissent simultanément sur l'œil,

la perception de la couleur composée ne saurait être ramenée à des pousées d'onde se suivant régulièrement à des intervalles égaux, et par conséquent, dans ce cas au moins, ce n'est pas la poussée d'onde résultante qui détermine la couleur. Deux couleurs, en effet, donnent pour résultante une couleur d'une longueur d'onde intermédiaire; or, la courbe qui résulte de la composition de leurs deux lignes d'onde est très loin de constituer elle-même une ligne d'onde, ayant ses croupes à une distance toujours la même, qui devrait tenir à peu près le milieu entre les distances des croupes sur les deux lignes composantes. En second lieu, je présume que l'œil matériel, à l'égal de toute autre matière perméable à la lumière et réfringente, exige que le mouvement complexe des molécules d'éther se résolve en vibrations sinusoïdales, et alors la poussée d'onde s'effondre complétement. Enfin, conformément à la remarque de M. von Ettingshausen, rappelée dans l'art. 13, et à l'éclaircisssement donné dans l'art. 14, on ne doit pas se former une représentation trop caractérisée de cette poussée de l'onde, qui pourrait bien, à raison de la multitude des séries dont elle se compose, avoir un contour très peu accidenté.

L'œil de l'observateur étant maintenant supposé lui-même en mouvement dans l'éther immobile, cet œil, s'il va par exemple à la rencontre de la lumière, recueillera par cela seul à des intervalles plus courts les poussées d'onde et même les croupes et les dépressions des vibrations élémentaires; pour cette raison la couleur doit se déplacer, suivant Doppler, vers le violet. Mais tout dépend ici de la preuve que cette couleur est déterminée par la poussée d'onde et non par la durée de vibration des molécules de l'éther. Dans le cas du mélange des couleurs, cité ci-dessus, on peut très bien concevoir que les vibrations élémentaires suscitent directement des perceptions, d'où naîtrait ensuite par combinaison une autre perception, celle de la couleur composée. De cette manière, la vibration simple se trouverait maintenue dans tous ses droits. Mais de ce que, dans les conditions du mélange des couleurs, la perception ne serait pas déterminée par la poussée d'onde, on ne pourrait pas encore conclure, avec une certitude absolue, qu'ici,

dans le cas spécial qui nous occupe, le mouvement n'influe en rien sur la perception de la couleur. On doit toutefois remarquer que l'œil seul est en mouvement avec une certaine quantité d'éther adhérent à sa masse, tandis qu'une autre partie de l'éther, celle qui représente sa densité normale dans l'espace, reste, suivant Fresnel, toujours en repos. En admettant maintenant que l'influence directe des vibrations courantes ne s'étende qu'à cet éther de densité normale contenu dans la rétine, et qu'elle y excite par exemple des vibrations fixes, dont la force vive serait immédiatement absorbée par la matière de la rétine et son éther adhérent, le mouvement de l'œil n'aurait plus aucun effet, puisque cette dernière communication, pour les raisons développées en parlant de la transmission de la vibration de la source à l'éther ambiant, peut se faire sans altération. — Peut-être la seule considération de la normale à la surface des ondes mettra-t elle déjà un terme à ces discussions; car c'est cette normale qui détermine la place de l'image sur la rétine ou, en d'autres termes, la direction dans laquelle l'objet est vu; et les partisans de la vision par pulsations auront beaucoup de peine à nous donner une définition de ce que c'est que la normale à la surface des pulsations. Mais laissons cette digression, car personne ne nous a encore dévoilé la nature réelle de la perception visuelle.

45. Ceci me ramène à une question que, pour simplifier, j'avais écartée jusqu'ici, et qu'on pourrait pourtant facilement s'adresser: la question de savoir si l'absorption est modifiée par le mouvement de l'atmosphère absorbante. Nous nous trouvons ainsi de nouveau, malgré notre désir de l'éviter, en face du problème de l'essence de cette absorption. L'idée la plus simple qu'on puisse s'en faire est peut-être celle-ci: l'éther renfermé dans la vapeur est capable seulement d'exécuter des vibrations d'une ou de plusieurs périodes déterminées, et il absorbe à leur profit la force vive des vibrations courantes qui l'atteignent, en tant que celles-ci suivent la même période; les vibrations courantes qui ne satisfont pas à cette condition ne peuvent servir à cet usage, parce que, d'après la formule de Fourier, qui dans son application à la

théorie des ondes exprime une vérité physique, il est impossible que des vibrations de durée différente se fondent en une seule; deux sinusoïdes dissemblables par leur période ne peuvent, en effet, jamais en donner une troisième par leur combinaison.

Lorsque la masse gazeuse, par exemple notre atmosphère terrestre, se déplace, l'éther renfermé, ou du moins la partie qui possède la densité normale de l'espace vide, reste de nouveau, suivant Fresnel, en repos; seul le léger excédant dû à la présence de l'air partage le mouvement de celui-ci. Cet éther de densité normale, à l'intérieur de la masse gazeuse, nous voulons le supposer maintenant dans un état de tension, en vertu duquel il puisse exécuter des vibrations fixes déterminées. Les molécules gazeuses, avec l'éther adhérent additionnel, sont les centres d'où émane l'influence qui produit cette tension; elles forment en même temps, pour ainsi dire, les points d'appui fixes qui absorbent la force vive des vibrations de l'éther normal. Quant à la manière dont ce dernier prend cet état de tension, ou à la nature de l'action qu'exercent sur lui les molécules gazeuses, c'est un point que nous n'essayons pas de préciser.

Ainsi, l'éther qui apporte les vibrations de la source lumineuse, et l'éther qui à l'intérieur de la masse gazeuse doit être mis par elles dans un état de vibration fixe, restent tous les deux en repos; il n'y a donc aucune raison pour que cette vibration courante, en se transformant en vibration fixe, allonge ou raccourcisse sa période. Le principe de la conservation de la durée de vibration est encore pleinement sauvegardé dans le passage dont il s'agit.

Veut-on voir cette vibration fixe se transmettre encore plus loin, aux molécules gazeuses et à l'éther adhérent? eh bien, à raison de l'étendue de la masse d'éther de densité normale qui se trouve déjà en vibration fixe, cette transmission pourra s'opérer tout aussi bien sans changement de période que la communication, traitée en détail aux art. 31, 32 et 33, de la vibration fixe d'une source en mouvement à un milieu en repos. Quant à ce que cette force vive devient ultérieurement, lorsqu'elle est passée dans la matière, nous ne le savons pas et, pour le moment, cela importe peu.

Ce qui est vrai de notre atmosphère s'applique aussi à une couche quelconque de vapeur, à un milieu absorbant quelconque. La comparaison avec le phénomène connu du son, où un tout limité, capable d'exécuter des vibrations, est mis en branle par la succession accélérée ou retardée de poussées d'onde proprement dites, — d'impulsions de condensation ou de dilatation, — cette comparaison serait ici tout à fait déplacée.

En parlant de la source lumineuse, j'ai, dans un passage précédent, pour simplifier, laissé l'éther inclus exécuter les vibrations fixes et se déplacer avec la vitesse de la source. Cette vue n'est, il est vrai, pas d'accord avec l'hypothèse de Fresnel, qui vient d'être appliquée ici; mais cela ne touche pas le point en question. En tout état de cause, c'est la translation de la matière qui donne lieu à un renouvellement incessant des molécules d'éther mises en vibration, et on doit laisser progresser avec la source les points mathématiques d'où la vibration fixe émane.

46. La reconnaissance comme vérité physique, dans son application à la doctrine des ondes, de la formule de Fourier forme évidemment la base sur laquelle je fais reposer la persistance individuelle de vibrations élémentaires de même période dans mon rayon lumineux incessamment renouvelé, ou du moins leur apparition séparée lors du passage dans une autre matière. Il va sans dire que, parmi ces vibrations, je me figure réunies en un seul tout celles dont l'anomalie et l'amplitude restent constantes dans le cours d'une vibration entière; je laisse aussi à l'interférence sa juste part d'influence. Le mouvement résultant d'une molécule d'éther est une sinusoïde, qui change à chaque instant d'anomalie et d'amplitude; et précisement à cause de cela, il se décompose, au moment même du passage, en sinusoïdes élémentaires à anomalie et amplitude constantes, malgré l'égalité de période de toutes ces sinusoïdes. Le théorème de Fourier, élevé au rang de vérité physique aussitôt que la force développée par le déplacement de la molécule vibrante est prise proportionnelle à la première puissance de ce déplacement, jette, par le fait même de ce dédoublement du mouvement composé en sinusoïdes indépendantes, un

jour nouveau sur plusieurs phénomènes de la doctrine des ondes. Il rendrait peut-être encore de grands services, si le milieu conducteur devait être regardé comme dans un état de mouvement jusqu'à une certaine distance de la source.

§ XII.

47. Mais, dira-t-on, des observateurs tels que Huggins [1]), Lockyer [2]) et Vogel [3]) ont vu les raies spectrales, et en particulier la raie F de l'hydrogène, déplacées, soit comme raies d'absorption dans les spectres des étoiles, soit comme raies brillantes dans les spectres des émanations gazeuses qui se produisent subitement à la surface du soleil. Je ne doute nullement qu'ils aient en effet observé ces déplacements, seulement, qu'on ne me demande pas de les attribuer au mouvement de la source lumineuse ou du prisme. Faisons-nous une idée nette de ce qui a été observé, et examinons alors si la méthode d'observation, les instruments employés ou d'autres causes physiques peuvent en donner une explication satisfaisante.

Le déplacement dont il est ici principalement question concerne la partie bleue du spectre, car c'est là que se trouve la raie F. Dans toutes les observations il a été fait usage de lunettes. Or on sait que même les meilleurs de ces instruments sont encore toujours affectés d'un défaut d'achromatisme, et qu'on y laisse le bleu et le violet, comme rayons les moins intenses, aller, pour ainsi dire, leur train; en outre, le foyer des rayons marginaux est naturellement encore différent de celui des rayons centraux. J'ai exécuté

---

[1]) *Further observations on the spectra of some stars and nebulae with an attempt to determine therefrom wether the bodies are moving towards or from the earth, also observations on the spectra of the Sun and of Comet* II. 1868. *Phil. Transact.*, 1868, vol. CLVIII, p. 549. 1869.

On the spectrum of the great nebula of Orion and on the motions of some stars towards or from the earth. Phil. Magaz. 4e Sér., vol. XLV, p. 133. 1873.

[2]) *On recent discoveries in solar physics made by means of the spectroscope. Phil. Magaz.* 4e Sér. vol. XXXVIII, p. 342. 1869.

[3]) *Beobachtungen auf der Sternwarte zu* Bothkamp. Heft I, p. 38. 1872.

trop de mesures de réfraction et de diffraction avec le spectromètre, par conséquent à l'aide d'une lunette, pour ne pas savoir que ce sont précisément les mesures effectuées dans la partie la plus réfrangible du spectre qui souffrent le plus du défaut d'achromatisme, c'est-à-dire du défaut de précision dans la mise au point, et de l'aberration de sphéricité. Il n'est donc pas étonnant que j'aie cherché en partie dans l'usage des lunettes et des lentilles l'explication des déplacements des raies qui viennent d'être rappelés.

48. Il suffit de lire le Mémoire de M. Huggins et de voir avec quel soin il procède à l'ajustement de l'étincelle électrique et de l'image de l'étoile, pour être convaincu qu'il a très bien reconnu la nécessité de les centrer parfaitement l'une et l'autre sur l'axe de son spectromètre, pour pouvoir comparer les raies des deux spectres. Et pourtant il ne paraît pas avoir songé au défaut d'achromatisme et à l'aberration sphérique des verres de son spectromètre, car autrement il aurait senti que les deux cônes de rayons incidents devaient, à la rigueur, avoir aussi le même angle au sommet, c'est-à-dire, qu'ils devaient partir absolument du même point de l'axe.

Lorsque les spectres de deux sources lumineuses sont comparés entre eux, ou bien 1° les deux faisceaux peuvent tomber sur les prismes en venant d'une distance infinie ou de distances finies égales, et en même temps leurs axes peuvent coïncider ou ne pas coïncider; ou bien 2° les deux faisceaux peuvent tomber sur les prismes de distances différentes, et alors encore les axes peuvent ou non coïncider entre eux. Toutes les raies homologues des deux spectres ne se correspondront exactement, cela est indubitable, que si les deux sources peuvent être regardées comme placées à des distances rigoureusement égales des prismes, ou plutôt de la lentille du collimateur, et si de plus les axes des deux faisceaux coïncident. Si les axes continuent à coïncider, mais que les sources se trouvent à des distances différentes, les raies des deux spectres peuvent se séparer; c'est sous cette rubrique que tombent les observations de M. Huggins, quand l'ajustement est parfait.

Dans tout spectromètre il y a un collimateur, qui rend les rayons

de la source parallèles entre eux; dans l'appareil de M. Huggins, ce collimateur est représenté par la lentille achromatique qui est placée en avant des prismes et au foyer de laquelle se trouve la fente. Si j'ai bien compris, l'image de l'étoile, formée par l'objectif du réfracteur, tombe exactement sur la fente, tandis que l'étincelle électrique ou le tube à hydrogène est placé à une assez grande distance en avant; les deux sources lumineuses sont amenées dans l'axe de la lunette; je suppose le spectromètre dans la position du minimum de déflexion, et la lunette d'observation ajustée avec soin sur la fente.

Nous avons maintenant affaire en premier lieu au cône de rayons de l'étoile, qui a la fente pour sommet et la surface de l'objectif du réfracteur pour base; lorsque la distance de la fente à la lentille du collimateur est connue, on peut assigner la base du cône de rayons stellaires qui tombe sur cette lentille. La fente occupant le foyer du collimateur, nous admettons que la masse des rayons tombe parallèlement sur les prismes, où elle subit le minimum de déflexion; la lunette du spectromètre, pointée sur la fente, réunit aussi bien que possible, en un spectre stellaire net, les couleurs les mieux achromatisées; la raie F de l'hydrogène est un peu moins nette, parce qu'elle se trouve à une petite distance en avant du foyer de l'oculaire.

Le cône de rayons qui vient de l'étincelle électrique, ou du tube à hydrogène, a cette étincelle pour sommet et la largeur de la fente pour section, de sorte que, sur la lentille du collimateur, sa base a probablement, dans le sens perpendiculaire à la fente, une dimension très petite, et d'autant plus petite que l'étincelle est plus éloignée de la fente. Les rayons de l'étincelle ne sont donc guère que des rayons centraux pour la lentille du collimateur, et par suite ils éprouveront, de la part de cette lentille, une réfraction moins forte que les rayons marginaux de la lumière stellaire, laquelle possède, si je ne me trompe, une base beaucoup plus grande. Comparés à cette lumière de l'étoile, que nous nous figurons sous une incidence parallèle, ces rayons tomberont donc sur les prismes en divergeant; la distance plus grande

de l'étincelle ne corrige rien sous ce rapport, parce que la lunette est pointée sur la fente et non sur l'étincelle. Lorsque les rayons de l'étoile, émergés parallèlement à l'axe, éprouvent la réfraction minima, les rayons de l'étincelle, qui tombent sur le prisme en divergeant, subiront en partie une réfraction plus forte, parce que leur direction s'écarte à droite ou à gauche de celle des premiers. — Même lorsque tout est convenablement ajusté, la raie pourra donc de cette manière, dans le spectre de l'étincelle, être un peu dilatée à son côté le plus réfrangible; par suite du défaut d'achromatisme, elle ne sera d'ailleurs, pas plus que dans le spectre de l'étoile, vue avec netteté.

On comprendra maintenant comment, dans les circonstances ordinaires, avec le meilleur ajustement, la raie F de l'étoile peut paraître un peu moins réfrangible que celle de la source terrestre, de sorte que, suivant Doppler, l'étoile semble s'éloigner de la Terre. Ce sont les raies les plus réfrangibles qui auront le plus à souffrir de l'influence indiquée, parce qu'un même écart entre le rayon incident et la direction de déflexion minima donne lieu, pour un plus grand indice, à un plus grand écart dans la direction du rayon réfracté. En outre, comme ils tombent pour les deux spectres en dehors du foyer de l'oculaire, et peut-être même à des distances différentes de ce point, une comparaison exacte deviendra de nouveau plus difficile.

49. Laissons maintenant encore la source de comparaison et l'image de l'étoile à leur place; mais supposons l'axe du spectromètre légèrement déjeté, ce qui peut facilement arriver, de sorte que cet axe, — qui est en même temps l'axe du collimateur, — ne coïncide plus avec l'axe du réfracteur, sur lequel se trouvent les deux sources lumineuses; l'appareil est d'ailleurs supposé mis convenablement au point. Une des deux sources lumineuses, cela est certain, tombe alors un peu en dehors de l'axe du collimateur; mais ce qui est le point essentiel, c'est que l'axe du cône lumineux de l'étoile cesse nécessairement de coïncider avec cet axe du collimateur; l'axe du cône lumineux de l'autre source peut d'ailleurs s'en écarter tout autant. A cause de la différence entre

les rayons du bord et ceux du centre, la lumière d'un des cônes peut, après réfraction par la lentille, tomber sur le prisme en convergeant ou en divergeant, tandis que celle de l'autre cône se présente dans l'état de parallélisme; si le faisceau parallèle est alors dans la direction précise du minimum de déflexion, l'autre pourra fournir des raies montrant, surtout celles de l'indice le plus fort, un élargissement au côté le plus réfrangible. Mais, à part cela, la non-coïncidence des axes des deux cônes, sur laquelle je voulais ici attirer spécialement l'attention, aura toujours pour effet un écart entre les raies des deux spectres.

L'article précédent a expliqué pourquoi, dans les circonstances ordinaires, les étoiles peuvent paraître s'éloigner de la Terre; celui-ci met en lumière la circonstance extraordinaire qui, en admettant les idées de Doppler, semblera éventuellement communiquer aux étoiles, par rapport à la Terre, soit un mouvement de rapprochement, soit un mouvement d'éloignement. Il est clair que toutes les raies, quelle que soit leur réfrangibilité, seront relativement déplacées de la même manière, mais que ce déplacement sera de nouveau plus considérable pour celles dont l'indice de réfraction est plus élevé; le défaut d'achromatisme rendra aussi ces dernières moins distinctes, et par suite leur comparaison rigoureuse plus difficile.

Qu'on ne se méprenne pas sur ma pensée. Je n'affirme nullement que dans les observations de M. Huggins ou de M. Vogel les choses se sont passées de telle ou de telle manière; mais j'indique des causes dans lesquelles de petits déplacements constatés pourraient trouver une explication plausible. Il est singulier que l'interprétation acceptée n'ait encore soulevé aucun doute, alors que, après correction pour le mouvement de la Terre, M. Huggins était conduit à assigner aux étoiles qui se rapprochent du Soleil un déplacement 2 ou 3 fois plus rapide que celui des étoiles qui s'en éloignent [1]). Le même observateur trouve le mouvement de Sirius

---

[1]) *Phil. Magaz.* 4_e Sér., Vol. XLV, p. 133 (la liste), et *Proceedings of the royal Society*, Vol. XX, p. 393.

un des plus grands, tandis que le mauvais temps le forçait de se contenter de la probabilité que Procyon et Capella se meuvent dans la même direction que Sirius. Les résultats obtenus par M. Vogel, dans une même soirée, pour Sirius, Procyon et Capella, tombent, comme ceux de M. Huggins, tous dans le même sens, et pour Procyon le résultat est même plus grand que pour Sirius; un autre soir le mauvais temps ne lui laissait retrouver le résultat que pour Sirius seul [1]). Ceci n'exclut pas encore l'action d'une cause constante, qui pourrait être cherchée dans une non-coincidence des axes des deux faisceaux lumineux réfractés; les observations, spécialement celles de M. Vogel, sont trop peu nombreuses, pour autoriser à assigner des valeurs incontestables aux déplacements des centres des raies.

J'aurais encore à appeler l'attention sur la possibilité qu'une raie éprouve une dilatation physique, à l'un ou à l'autre côté, par l'apparition de raies d'absorption voisines, appartenant à une autre matière contenue dans la couche de vapeurs; mais je ne crois pas avoir besoin d'invoquer cette nouvelle influence, d'ailleurs peu probable.

50. Dans les observations de M. Lockyer [2]) et aussi dans celles de M. Vogel, en tant qu'il s'y agit du disque solaire, ou d'une partie de ce disque, et d'une émission de gaz lumineux, — presque toujours de l'hydrogène, — il y a constamment deux sources lumineuses, qui envoient simultanément de la lumière à travers la fente du collimateur.

Pour ce qui est des recherches concernant les courants gyratoires de la chromosphère, ou le phénomène des protubérances, on peut de nouveau y supposer une divergence entre les axes des deux faisceaux incidents, laquelle aurait pour effet de déplacer les raies d'un des spectres par rapport à celles de l'autre. Dans les tourbillons de la chromosphère il peut exister deux ou plusieurs maxima de lumière; et à coup sûr, lorsqu'on vise succes-

---

[1]) l. c., p. 34.

[2]) H. E. Roscoe, *Die Spectralanalyse, uebersetzt von* Schorlemmer, 1870, p. 225.

sivement chacun des deux bords d'un pareil tourbillon, on porte l'axe de toute cette masse lumineuse une fois à gauche et une fois à droite de l'axe du spectromètre. Quant aux protubérances, par leur forme ramifiée et capricieuse elles occasionnent peut-être sur une grande surface une distribution sporadique de la matière lumineuse, ee qui ne saurait rester sans influence sur la position relative des raies peu nombreuses, dans lesquelles cette lumière se résout, par rapport aux raies correspondantes du spectre solaire.

Pour les dessins que M. Lockyer (Roscoe, fig. 76) et M. Vogel (p. 40) donnent des spectres pris au voisinage d'une facule ou sur une tache avec pont transversal, nous pouvons faire d'autres remarques, qui toutefois sont encore fondées sur la présence de deux sources lumineuses. Faisons d'abord observer que le processus entier à la surface du Soleil, aussi bien dans les protubérances et les tourbillons qu'ici, paraît se borner à une simple émission de vapeur incandescente; je ne vois aucune nécessité d'admettre en outre une ascension ou une chute rapides de gaz refroidi, comme semblent le vouloir MM. Roscoe et Vogel.

Le dessin de M. Lockyer, tel qu'il nous est donné par M. Roscoe, s'explique, à mon avis, d'une manière satisfaisante par l'élargissement, à droite et à gauche, de la raie brillante F, à côté de laquelle, vers le milieu du dessin, se distingue encore la raie obscure F, en quelque sorte refoulée; j'y vois donc en deux points, savoir au milieu et plus vers le haut, de simples renflements de cette raie brillante, pour lesquels j'admets deux centres d'émission d'hydrogène incandescent.

Pour ce qui concerne les observations de M. Vogel, j'ai de la peine à croire que son spectre fût tel qu'il est dessiné dans son travail, c'est-à-dire avec des raies obscures *b* qui d'un côté du pont étaient déplacées à gauche, et de l'autre à droite; cela me semble un peu trop symétrique. L'ondulation et le mouvement de l'air, devant le disque du Soleil, doivent nécessairement rendre peu net un pareil spectre, de si petite hauteur; tout ce que je conclus de ce dessin, c'est la présence de la vapeur incandescente du magnésium, qui donne des raies brillantes dilatées à droite et

à gauche, à côté desquelles, tout comme chez M. Lockyer, s'aperçoivent encore les raies obscures, courbées de dedans en dehors.

Comment il serait maintenant possible, dans le cas d'un déplacement éventuel des raies, d'en déduire sans aucune peine, conformément à la théorie de Doppler, la vitesse avec laquelle les gaz sont émis, c'est ce que je ne comprends guère. En effet, les parties de ces gaz qui sont les plus éloignées du Soleil, et par conséquent les plus rapprochées de nous, n'ont certainement plus de vitesse ascendante, mais probablement, à la place, une vitesse latérale; en outre, leur température ne peut pas différer beaucoup de celle de l'atmosphère lumineuse ou absorbante qui les entoure immédiatement. La vitesse réelle, supposé qu'on pût la déduire du déplacement des raies, devrait donc être trouvée par l'intégration d'une fonction du pouvoir lumineux et de la vitesse d'ascension des couches gazeuses; or cela ne laisserait pas d'offrir des difficultés.

Mais d'ailleurs, et en laissant cette question de côté, je crois pouvoir donner une explication beaucoup plus simple des deux dessins cités. Elle est fondée sur la circonstance que, si le plan d'incidence et de réfraction d'un rayon lumineux n'est plus perpendiculaire à l'arête réfringente du prisme, l'angle réfringent est ou plus petit ou plus grand que l'angle caractéristique du prisme; je rappellerai en outre que, par exemple, pour un prisme de flint pesant, d'un angle réfringent de 60°, chaque changement dans cet angle se traduit par un changement d'une valeur à peu près double dans la déflexion minima.

Donnons donc au collimateur, pour simplifier, une lentille cylindrique; s'il arrive alors que la source lumineuse perde justement la pièce qui se trouve dans l'axe du collimateur, la partie du spectre, qui à travers la lunette est encore vue à la place de la pièce supprimée, sera certainement produite par de la lumière diffuse provenant des portions conservées de la source, situées plus haut et plus bas, laquelle lumière aura nécessairement traversé les prismes suivant d'autres plans de réfraction et avec un autre angle réfringent; les raies que cette lumière fournit encore

en ce point du spectre seront alors déplacées à droite ou à gauche, selon que l'angle réfringent idéal résultant est devenu plus grand ou plus petit. Avec un assemblage de cinq prismes, combinés en un spectromètre ordinaire ou en un spectromètre à vision directe, cette petite déviation peut très facilement prendre par sommation une valeur appréciable, tout aussi bien que celle qui résulte d'un déplacement de la source à droite ou à gauche. Avec un seul prisme, il serait évidemment impossible de fournir encore un rayon réfracté coïncidant avec l'axe.

Les incurvations des raies d'absorption au devant d'une émission gazeuse, qui seules sont ici en question, sont alors dues à ce que la lumière qui les fournit doit provenir des parties du disque solaire situées plus haut ou plus bas. Quant aux raies brillantes, d'après les dessins, je ne puis pas y voir des incurvations, mais seulement une dilatation simultanée à droite et à gauche; or cette dilatation ne donne lieu à aucune difficulté, puisque l'intensité supérieure et la nature de la source suffisent à l'expliquer.

Plus on emploie de prismes, plus devient grande la complication qui résulte de la suppression d'une partie de la source. Un pont de vapeur incandescente de magnésium produit un effet équivalent à l'extinction partielle, en cet endroit, de la lumière solaire ordinaire. Comme on l'a vu, les déviations observées par M. Lockyer concernent ici de nouveau la raie F, ainsi toujours des rayons très réfrangibles, pour lesquels, en outre, l'achromatisme laisse beaucoup à désirer. Les déviations trouvées par M. Vogel ont rapport aux raies *b* de Fraunhofer.

51. J'aurais beaucoup désiré voir moi-même les appareils employés, pour pouvoir mieux juger du fondement de mon interprétation des phénomènes; avec cette connaissance et celle des journaux d'observation, on pourrait décider s'il y a lieu de soupçonner des causes constantes, qui, p. e. pour toute une soirée, auraient simulé une même direction pour le mouvement des étoiles observées.

En général, on doit considérer que la raréfaction des gaz incandescents a une influence très appréciable sur la largeur des raies,

surtout dans la partie la plus réfrangible du spectre; cela indique que, dans certains cas, il y a émission de vibrations supplémentaires, dont la longueur d'onde s'écarte un peu de la longueur normale. De la même manière, un gaz dont la densité est modifiée absorbera encore des vibrations d'une longueur d'onde un peu différente. Un allongement du chemin de la lumière à travers l'atmosphère du corps céleste, et aussi à travers la nôtre, peut donner lieu à un élargissement unilatéral des raies d'absorption et à un déplacement de leur milieu [1]); on n'a qu'à se rappeler la nature de l'élargissement des raies atmosphériques du spectre solaire vers le coucher du Soleil. En outre, le point le plus obscur d'une raie nébuleuse d'absorption est très difficile à calculer; il est fonction de la distribution de la lumière dans cette région du spectre et de l'absorption.

La seule chose que je relèverai encore, c'est que tous ces savants doivent admettre que la longueur d'onde de la vibration absorbée varie, aussi suivant la loi de Doppler, avec la vitesse de rapprochement ou d'éloignement de l'atmosphère absorbante, et que par là ils se créent des difficultés inextricables dès que la direction du rayon diffère de la direction du mouvement de l'atmosphère.

52. Je n'ai pas encore parlé de l'influence que les changements de température exercent sur la réfraction. A raison d'une remarque de M. Vogel [2]), je rappellerai ici qu'il résulte de mes mesures [3]), qu'avec un prisme de flint pesant, soit de Merz soit de Hofmann, d'un angle réfringent de 60°, l'indice de réfraction augmente de une à deux unités de la cinquième décimale pour chaque degré dont la température s'élève sur l'échelle centigrade; que pour une espèce de crown de Merz cet indice croît d'une demi-unité de cette même décimale, et que pour un autre crown de Merz, ainsi que pour un crown de Steinheil, il décroît d'environ une demi-unité. Avec un ou plusieurs prismes du flint en question, une raie donnée avancera donc vers le violet quand la température s'élève,

---

[1]) *Voyez.* Vogel, l. c., p. 35, *la note*, *et* Huggins, l. c., p. 147.

[2]) l. c., p. 42.

[3]) *Archives du Musée Teyler*, Vol. I, p. 225, et Vol. II, p. 189 et 192—198.

et avec un spectromètre a vision directe, composé de prismes alternatifs de flint et de crown, la chance d'un pareil déplacement sera encore plus grande, si l'on suppose que le crown soit de la seconde espèce. Postérieurement, M. Blaserna [1]) a aussi déterminé pour du flint-glass cette variation de l'indice avec la température. Par une singulière méprise, toutefois, il dit que l'indice décroît quand la température s'élève, tandis qu'il a certainement voulu énoncer, conformément au résultat de mes propres observations, que l'indice et la température croissent ensemble.

Considérons maintenant les résultats où, par le déplacement des raies, la rotation du Soleil serait mise, dit-on, en évidence. En tant qu'il y était question de mesures, ces résultats ont été obtenus avec un spectromètre ordinaire à vision directe, composé de cinq prismes. Le spectromètre était dirigé sur le bord occidental du Soleil, et la raie F amenée en coïncidence avec une pointe d'acier placée au foyer de l'oculaire; le Soleil glissait devant le spectromètre, par l'effet du mouvement diurne, et lorsque son bord oriental se présentait, la raie était vue déplacée vers le côté réfrangible. Le changement de la longueur d'onde de F, en passant d'un des bords solaires à l'autre, s'élevait à un peu plus de un cent-millionième de millimètre, valeur d'où l'on déduisait la vitesse de rotation du Soleil, qui toujours fut encore trouvée trop grande. Si je comprends bien ce dont il s'agit, une augmentation de température de 0°,1 C de mon prisme pesant suffirait déjà à produire le déplacement de la raie vers l'extrémité réfrangible, tel qu'il a été observé. Le diamètre du Soleil a besoin de quatre minutes pour passer devant le spectromètre; or il est très possible que dans ces quatre minutes la température de l'appareil s'élève légèrement, d'autant plus que cette élévation peut être occasionnée non-seulement par le rayonnement direct, mais aussi et surtout par le contact d'un air échauffé. Si au voisinage du pôle nord ou sud du Soleil on n'a pas observé de déplacement de la raie, cela s'explique par la durée beaucoup plus courte qui s'est écoulée

---

[1]) Pogg. *Annalen*, B. CXLIII, p. 655. 1871.

entre le passage des deux bords. Si, en ramenant le spectromètre du bord oriental au bord occidental, on a constaté de nouveau une déviation plus faible, on peut très bien en trouver la raison dans un abaissement de température, si l'on suppose que, par le mouvement rapide imprimé à la lunette, l'air échauffé à l'intérieur du spectromètre a été remplacé par de l'air plus froid. Je présume aussi que les évaluations ou mesures proprement dites ont eu lieu seulement dans le passage graduel du bord occidental au bord oriental. Quant aux dérangements qu'un assemblage de prismes peut subir par une petite variation de température, il est impossible de rien en dire. Le plus simple est d'exécuter avec son spectromètre une série de mesures sur une autre source lumineuse, par exemple un tube à hydrogène de Geissler, à des températures différentes, mais restées longtemps constantes, de l'air ambiant; lorsque, comme c'est ici le cas, il ne s'agit que d'une différence de température de 5° C. par exemple, la condition de constance n'est pas difficile à remplir.

Comme en beaucoup d'autres circonstances analogues, j'ai dû regretter que l'on n'ait pas publié, dans sa simplicité primitive, le journal des observations; une pareille publication est ordinairement beaucoup plus instructive que le résumé fait par l'observateur, qui se place presque toujours à un point de vue plus ou moins exclusif et est si facilement entraîné à séparer d'une manière arbitraire le bon grain et l'ivraie.

53. Pour ce qui regarde le spectroscope à réversion de M. Zöllner [1]), je crois que provisoirement je puis me dispenser d'en parler, et attendre qu'il ait fourni quelques résultats décisifs. En effet, on ne voudra sans doute pas faire passer comme tels les résultats obtenus par M. Vogel dans les observations, mentionnées ci-dessus, sur les bords solaires; aucune mesure n'y est indiquée, parce que l'influence de l'élévation de température n'a pu être évitée ou parce que l'air était trop agité. J'espère qu'avant de

---

[1]) Pogg. *Annalen*, 1869, B. CXXXVIII, p. 32. *Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig*, 1869, p. 70, et 1871, p. 300.

produire à l'appui des idées que je combats de nouvelles observations faites au moyen de ce spectroscope, on voudra bien peser avec soin toutes mes objections; à mesure que la finesse de l'instrument augmente, des sources d'erreur plus faibles doivent se faire sentir dans les résultats, et une étude approfondie de l'influence de ces erreurs pourra épargner bien des peines.

Quant à moi, lors même qu'on parviendrait à obtenir avec ce spectroscope des résultats positifs de mesures, je suis pleinement convaincu que ceux-ci n'auront aucune valeur démonstrative, en ce sens qu'ils seront uniquement dus à des causes analogues à celles qus j'ai déjà signalées, causes qui seront restées inaperçues des observateurs ou dont on n'aura pas tenu compte.

Dès à présent je veux faire remarquer que, même dans ce cas, où on n'emploie pas de source de comparaison au moment de l'observation, une pareille source n'en a pas moins dû être mise en œuvre à un moment antérieur, par exemple, pour comparer la position du micromètre du spectroscope à réversion. Tout ce que j'ai dit concernant l'influence de l'angle des cônes de rayons directs, qui sont projetés sur la lentille par la source de comparaison et par l'image de l'étoile, trouve donc encore ici son application.

Seulement, avec le spectroscope à réversion de la construction primitive, à deux systèmes de prismes, on est affranchi des conséquences immédiates d'un changement de position de la source; mais pour cela on ne l'est pas encore du changement de déflexion du rayon réfracté, en tant que, par ce déplacement de l'axe du faisceau incident, les rayons directs qui tombent sur le prisme sont détournés de la direction exigée pour le minimum de déflexion; en effet, soit que les rayons tombent à droite de cette direction précise, soit qu'ils tombent à gauche, dans les deux cas la déflexion du rayon réfracté est augmentée. — L'avantage se perd toutefois, à mon avis, dans les dispositions nouvelles données à l'instrument, avec un objectif à réversion ou un oculaire à réversion.

Je ne crois pas que les spectroscopes à réversion puissent être recommandés de préférence pour les déterminations qu'on a en vue, et les systèmes nouveaux me paraissent moins favorables

que l'ancien, parce que l'avantage indiqué leur fait défaut et parce que les lentilles de correction les rendent plus compliqués. La raison qui me les fait juger, aussi bien dans leur forme première que dans les deux formes postérieures, peu propres à ces recherches comparatives, c'est qu'on y doit supposer qu'aucun changement n'est survenu à l'appareil et que la température est restée parfaitement constante dans le cours des comparaisons. Si l'on réfléchit qu'une variation de température de 0,1 C. suffit probablement pour produire un changement appréciable dans la déviation des raies avec un prisme unique, on comprendra quelles précautions la température seule impose déjà, et on sentira qu'il faudrait proprement commencer par dresser une table des positions pour les raies, mesurées pour des températures fixes différentes. Alors, mieux vaut encore employer un spectroscope ordinaire, en observant toutes les précautions requises, notamment pour la coïncidence des deux sources qui fournissent simultanément leurs spectres. De cette manière, on est tout à fait indépendant des changements du spectroscope et des variations de température des prismes; tandis qu'en faisant porter l'observation d'abord sur la source de comparaison et ensuite sur la source à comparer, outre qu'on n'échappe à aucune des précautions ordinaires, on reste exposé à toutes les conséquences du moindre petit dérangement dans l'appareil ou de la plus légère modification des prismes.

54. Dans l'intéressant ouvrage que M. Secchi [1]) a publié sur le Soleil, on retrouve les dessins de raies déplacées ou courbées, d'après M. Lockyer, ainsi que d'autres empruntés à M. Young. On y trouve aussi, de nouveau, la même confiance illimitée dans le raisonnement de Doppler, regardé comme applicable à la couleur et à la réfraction du rayon; le même appel aux observations relatives au son, faites au moyen de locomotives, observations que j'ai exposées plus haut dans toute leur simplicité et avec leur signification réelle; le même saut périlleux, de l'impulsion accélérée, qui excite un ton plus aigu dans un ensemble circonscrit, à la

---

[1]) *Die Sonne, herausgeg. von* Schellen, p. 488—501. 1872.

durée raccourcie de la vibration courante dans le milieu indéfini, qui changerait la déviation du rayon réfracté, enfin, pour couronnement, l'observateur qui, armé de son spectroscope, détermine la composante, suivant le rayon visuel, du mouvement relatif de l'étoile et de la Terre. L'écrit de M. Secchi, traduit et augmenté par M. Schellen, est le dernier dont j'aie à m'occuper; la gradation qui nous attendrait partout ailleurs est maintenant, pour ainsi dire, connue d'avance: les expériences sur le chemin de fer ou avec l'appareil à anche de M. Mach, la couleur de la lumière, la réfraction du rayon, le déplacement des raies, et le mouvement de l'étoile après déduction de celui de la Terre; le tout enveloppé de nuages de plus en plus épais, sous lesquels l'idée et le raisonnement finissent par disparaître.

Les causes spéciales que j'ai signalées, comme pouvant rendre compte des phénomènes observés, sont aussi énumérées en partie par M. Schellen, mais rejetées comme insuffisantes. Il ne dit rien de l'aberration de sphéricité ni du défaut d'achromatisme des lentilles et de ses conséquences, sur lesquelles j'ai appelé l'attention; rien de l'influence que peut avoir un petit changement de l'angle réfringent du spectroscope, dû à l'incidence oblique des rayons qui viennent du haut et du bas; pas un mot non plus de la dilatation physique que les raies obscures ou brillantes, surtout les plus réfrangibles, éprouvent en cas de changement de densité du gaz et d'allongement du chemin que la lumière y parcourt.

Les observations solaires n'y donnant pas spécialement lieu, l'ouvrage de M. Schellen ne s'occupe pas de l'inégalité entre les distances au collimateur de l'image de l'étoile et de la source de comparaison, inégalité à laquelle j'ai attaché tant d'importance; on n'y trouve non plus aucune mention du cas où l'image solaire ne tombe pas juste dans le plan et sur l'axe de la fente, défaut qui peut changer notablement l'étendue angulaire de la source lumineuse et avoir une grande influence sur la situation de l'axe et les dimensions du faisceau direct incident; enfin il n'y est pas appuyé suffisamment sur la distribution inégale et la dispersion sporadique de la matière lumineuse dans les protubérances et les

ponts, ni sur ses déplacements latéraux. Or, tous ces points me paraissent non moins dignes d'attention que les autres.

Je répète ici la question que j'ai faite plus haut: comment faudra-t-il évaluer la vitesse verticale des gaz, vitesse qui est nécessairement nulle au point le plus élevé, où néanmoins les gaz ne peuvent pas encore être beaucoup refroidies, puisque autrement ils absorberaient de nouveau la lumière des couches inférieures?

Je dois aussi faire remarquer la circonstance assez singulière qu'on ne trouve ici figurée nulle part une raie brillante régulièrement courbée, mais toujours des raies élargies à droite et à gauche, ou des raies diffusées tout à fait irrégulièrement; ce sont seulement des raies d'absorption que les dessins nous montrent affectées, au milieu du spectre, d'une courbure régulière: les figures 77 de M. Roscoe et 162 de Schellen ne concordent guère avec les déplacements ou incurvations symétriques des fig. 66 de M. Roscoe et 161 de M. Schellen. Je m'étonne que cette différence n'ait jamais éveillé de doutes au sujet de la validité de l'explication.

En ce qui concerne l'incurvation ou le déplacement des raies dans l'étincelle électrique, je renvoie aux figures du Mémoire de M. Angström [1]), cité plus haut; elles nous apprennent ce que peut produire un déplacement latéral durable de la source ou de la matière lumineuse.

L'ouvrage que j'analyse [2]) présente à tort les résultats de M. Vogel, dont celui-ci déduit la rotation du Soleil, comme obtenus avec un spectroscope à réversion. M. Vogel dit bien qu'il a vu avec cet appareil le déplacement des raies, mais c'est avec son spectromètre ordinaire à vision directe qu'il l'a estimé; et lors de cette estimation, si je ne me trompe, l'influence de l'échauffement n'était pas directement empêchée.

L'ouvrage traite ensuite des spectres des taches [3]), et nous les montre, dans une couple de dessins, tels qu'ils ont été observés

---

[1]) Poggend. *Annalen*, B. CXIV, pl. IV, fig. 3^a et 3^b.; 1855.
[2]) l. c., p. 500.
[3]) l. c., p. 589.

par M. Secchi et M. Young; la fig. 167, de M. Secchi, fait voir comment, au-dessus du noyau de la tache, quelques raies d'absorption étaient élargies à droite et à gauche; la fig. 170, empruntée à M. Young, représente la même dilatation des raies obscures du sodium, ou raies D, avec un noyau brillant, noyau qui est attribué à des vapeurs incandescentes de sodium flottantes au-dessus de la tache. Si les noyaux des taches sont, spectroscopiquement parlant, des ponts obscurs, le spectre que nous voyons devant la tache doit bien être formé par de la lumière partie de droite et de gauche, d'en haut et d'en bas, et sortant du spectromètre dans la même direction que si elle venait de la tache; la dilatation de quelques raies d'absorption aux deux côtés n'aurait alors, comme je l'ai montré ci-dessus, rien d'extraordinaire; quant au noyau brillant des raics, il peut très bien provenir de vapeurs incandescentes de sodium, qui, elles, se trouveraient précisément au-dessus de la tache. Si cette explication est admissible ici, elle s'applique avec le même droit aux ponts brillants de M. Vogel. La seconde figure diffère toutefois notablement de la représentation de M. Vogel [1]), dont j'ai parlé ci-dessus, ainsi que du dessin de M. Lockyer [2]), pris au-dessus et au voisinage d'une protubérance.

Pour ce dernier, il vaut donc mieux s'en tenir à l'explication qui s'offre le plus naturellement. L'hydrogène en voie de refroidissement, je me le figure s'écoulant du côté du rouge, où il finit par être suffisamment refroidi pour exercer de nouveau une action absorbante sur la lumière émise derrière lui. Par ce déplacement de la source d'où provient la raie d'absorption F, cette raie sera elle-même déplacée vers le rouge. La forme et la mobilité des protubérances rendent un pareil écoulement très admissible. Le dessin où M. Lockyer représente des raies brillantes déplacées [3]) se concilie parfaitement avec cette manière de voir; ici, c'est l'hy-

---

[1]) *Beobachtungen zu* Bothkamp, p. 40.
[2]) Schellen, fig. 158. Roscoe, fig. 76.
[3]) Roscoe, fig. 77.

drogène encore lumineux, là, l'hydrogène déjà absorbant qui s'est écoulé. Il me semble que cette explication n'a rien que de plausible [1]).

§ XIII.

55. Lorsque le mouvement de la source lumineuse et de l'atmosphère absorbante coïncide en direction avec la ligne visuelle, on peut encore, à l'aide de certaines conditions et d'hypothèses singulières, se tirer d'affaire avec les raisonnements de Doppler et de ses successeurs. Doppler doit admettre, dans ce cas, que l'absorption est réglée par le nombre des poussées d'onde qui, en un temps déterminé, frappent la vapeur interposée; à cette condition, la lumière jaune, par exemple, émise à la surface du Soleil par la vapeur incandescente du sodium, continuera à être interceptée par la vapeur sodique plus froide placée sur son trajet. Quant à ceux qui croient la durée de vibration et la longueur d'onde changées par le mouvement de la source, ils sont obligés de faire absorber par l'atmosphère froide, à raison de son mouvement, une vibration d'une durée changée dans le même rapport, et de restituer pour ainsi dire à la vibration changée sa durée et sa longueur d'onde normales, avant de la transmettre à la vapeur froide. Comment ils justifient cette hypothèse, c'est affaire à eux; mais s'ils ne s'y résignent pas, et s'ils laissent la vapeur en mouvement absorber une vibration de la même longueur d'onde que dans l'état de repos, ils sont amenés nécessairement à cette conclusion étrange, que la vapeur refroidie du sodium, lorsqu'elle est en mouvement, livre passage à la lumière jaune de la vapeur sodique incandescente [2]).

Pour l'opinion que je soutiens, il est tout à fait indifférent que le mouvement de la source et de son atmosphère ait lieu dans telle ou telle direction par rapport à la ligne visuelle; car, dans

---

[1]) Le grand ouvrage de M. Lockyer, *Contributions to solar physics*, *London*, 1874, ne m'est arrivé qu'après la rédaction de mon mémoire; autrement j'aurais indiqué les dessins dans cet ouvrage même, où ils seront d'ailleurs facilement retrouvés.

[2]) Voyez, Veltman, *Astron. Nachr.*, B. LXXV, p. 155.

toutes les directions autour de la source, on a, d'après cette opinion, la même période et la même longueur d'onde pour la vibration courante, et la même communication de celle-ci, peut-être sous forme de vibration fixe, à l'éther en repos relatif et de densité normale, qui est contenu dans la vapeur.

En adoptant au contraire les vues de M. von Ettingshausen et de M. Petzval, on est assailli de difficultés, ainsi que je l'ai déjà fait voir à l'art. 37, dès que, avec une source consistant simplement en un point abstrait animé de vibrations fixes, on veut tirer des impulsions différentielles une vibration courante convenablement raccourcie ou allongée, pour une direction autre que celle dans laquelle se meut la source. Si l'on veut maintenir la loi des cosinus, on ne peut laisser ces impulsions se composer en une vibration qu'à une distance infinie; c'est aussi seulement là que les surfaces de propagation des impulsions à combiner, si l'on peut encore parler de surfaces, deviennent strictement parallèles. A ces premières difficultés, pour les directions qui s'écartent de celle du mouvement, l'absorption vient en ajouter de nouvelles; non-seulement la source doit être supposée à une distance infinie, mais il faut maintenant faire entrer en ligne de compte, comme mesure de la longueur d'onde de la lumière absorbée, et les temps et les distances des surfaces des phases correspondantes.

Doppler lui-même, avec ses poussées d'onde, ne rencontre pas des embarras moindres, aussitôt qu'il s'éloigne de la direction du mouvement; j'y ai déjà fait allusion à l'art 6, en faisant remarquer qu'il ne raisonne que pour un rayon unique, et à l'art 36 je suis entré à ce sujet dans plus de développements. L'absorption, dans la direction oblique, vient maintenant, pour lui aussi, aggraver la position; s'il veut étendre à l'atmosphère absorbante ses considérations sur la rapidité de succession des pulsations, il devra regarder le retard ou l'accélération comme ayant une valeur différente aussi pour chaque direction du rayon émané d'une source en repos; dans des directions différentes, la lumière sortira alors, après l'absorption, avec des couleurs différentes.

56. Il semblerait presque qu'on ait jusqu'ici évité à dessein de

parler, soit de toutes ces directions autres que celles du mouvement, soit du phénomène de l'absorption. On glisse sur la question, en se bornant à dire: un simple examen apprend que les actions, que deux corps exercent l'un sur l'autre par des impulsions périodiques d'une vitesse finie de propagation, doivent être modifiées par un changement de la distance entre ces deux corps. Cette assertion est évidemment fondée sur la considération superficielle des phénomènes mécaniques complexes qui se produisent lorsque les ondulations de l'eau, ou les vibrations de l'air, viennent frapper un corps placé sur leur trajet; mais quand il s'agit des vibrations élémentaires de la lumière dans l'éther indéfini, je ne vois pas bien ce que nous avons à faire avec une impulsion périodique d'une vitesse finie de propagation, ni ce que devient la théorie des surfaces d'ondes quand nous substituons aux vibrations des impulsions périodiques. On se trompe indubitablement si l'on croit avoir prouvé, de cette manière, que la direction du rayon réfracté est dépendante, suivant la loi voulue, du mouvement relatif de la source lumineuse et du prisme.

A la proposition énoncée j'oppose celle-ci: un examen attentif apprend 1° que dans un milieu élastique indéfini aucune impulsion ou choc moléculaire, aucune phase, ne peut être transmise comme telle, mais seulement comme partie intégrante d'une vibration moléculaire qui émane d'un point fixe, ou — ce qui se rapproche peut-être davantage de ce qu'on a en vue — comme poussée d'onde ou phénomène sommatoire des vibrations élémentaires de milliers de molécules; 2° qu'en supposant même que les impulsions différentielles, les phases, d'une source animée d'une vibration fixe et d'un mouvement de translation, puissent cheminer isolément d'une façon stable, leur recombinaison en une vibration allongée ou raccourcie se heurte à des difficultés insurmontables aussitôt qu'on s'écarte tant soit peu de la direction du mouvement de la source; et 3° que l'absorption, par une atmosphère interposée, ajoute des difficultés encore plus graves à celles que cette théorie des pulsations rencontre déjà en elle-même.

Si je dois suivre le cours d'idées de Doppler et de ses parti-

sans, au moindre écart entre le rayon visuel et la direction du mouvement, je ne sais plus ce que deviennent la durée de vibration et la surface d'onde de la vibration courante, qni déterminent la réfraction du rayon et la direction de l'objet. Je ne sais plus ce qu'absorbe une masse de vapeurs: des pulsations et des déplacements instantanés ou élémentaires, ou bien une vibration que je ne puis laisser se former? Je ne sais pas davantage sur quoi porte la réfraction: sur ces vibrations courantes problématiques, accélérées ou retardées, des molécules de l'éther, ou sur ces impulsions différentielles rapprochées ou écartées l'une de l'autre? S'il faut s'en tenir à ces dernières, il ne pourra encore être question d'un changement de la direction du rayon réfracté, aussi longtemps qn'on n'aura pas fourni la preuve mathématique que la rapidité de leur succession à la surface limite a justement l'influence voulue sur leur vitesse de propagation dans le prisme réfringent.

Non, dussé-je être seul de mon avis, je ne crois pas qu'on puisse passer si légèrement sur toutes les difficultés énumérées, pour donner d'un phénomène aisément explicable une interprétation arbitraire, ériger ensuite celle-ci en loi naturelle inattaquable, et finalement en déduire les conséquences les plus importantes concernant les mouvements des corps célestes.

57. Tout ce que je viens de dire au sujet de la communication et de la propagation des vibrations lumineuses s'applique aussi parfaitement aux vibrations du son. Ce ne sont pas des phases indépendantes qui se transmettent en vertu d'une force occulte; ce sont des vibrations, de durée inaltérée, qui se communiquent de molécule en molécule. Lorsque le rayon d'action directe de la matière vibrante ou des molécules de l'air a une valeur finie, — et que la source vibratoire primaire possède des dimensions sensibles, — cette communication et cette propagation ont très certainement lieu, en dépit du mouvement progressif de la source; mais on peut se figurer ce mouvement assez rapide pour qu'une pareille communication ne puisse plus s'effectuer. Je fais ici entièrement abstraction de la question de savoir si la trajectoire de la vibration transmise rentre en elle-même, ou bien si, par suite de l'entraînement

partiel de l'air, ses molécules décrivent des courbes plus ou moins analogues à celles qui ont été remarquées, pour les molécules de l'eau, par les frères Weber [1]).

La théorie dite ennoblie, à laquelle s'en tenait M. von Ettingshausen, n'avait pu satisfaire M. Petzval, à cause qu'il n'y était pas tenu convenablement compte de l'entraînement du milieu ambiant par la source vibrante [2]). Moi, je rejette cette théorie pour une raison différente et qui touche plus au fond des choses, savoir: qu'une impulsion moléculaire, une phase isolée, ne saurait se propager sans se résoudre en vibrations. Je m'estimerais heureux si les considérations, que j'ai émises à ce sujet, pouvaient faire entrer le problème dans une phase nouvelle, qui aboutira, j'en ai la conviction, au triomphe définitif de la conservation de la durée de vibration.

58. Avant toute discussion ultérieure, je mets les partisans de la théorie de Doppler, n'importe sous laquelle de ses deux formes, en demeure de nous expliquer clairement, non-seulement pour le rayon lumineux dont la direction coïncide avec le mouvement de la source, mais pour toutes les directions quelconques, comment nous devons concevoir le phénomène de l'absorption, et comment la direction du rayon réfracté est changée par le mouvement de la source; pour cette dernière question, je les invite à traiter spécialement le cas où le prisme est placé très près de la source, qui sera, par exemple, une étincelle électrique. Lorsqu'ils auront satisfait à cette juste exigence, il restera encore à prouver qu'une impulsion isolée et indépendante peut se propager comme telle dans un milieu élastique indéfini, et à désigner les points de l'espace, d'où partent soit les impulsions périodiques, soit les vibrations courantes successives, qui parviennent à l'œil.

Pour la réfraction, je veux bien indiquer la voie aux partisans du changement de la durée de vibration. Prenant les impulsions différentielles, que la molécule lumineuse émet des divers points

---

[1]) *Wellenlehre*, Leipzig, 1825, § 101, fig. 22.

[2]) Voir son second Mémoire, p 582—583, et la fin de son troisième Mémoire.

de son trajet, au moment où elles arrivent, en succession plus rapide, aux dernières molécules de l'éther libre, à celles qui joignent le prisme, ils devront les y réunir en un tout, en une vibration d'une durée modifiée. Ceci est de nouveau une conception empruntée à l'excitation de vibrations sonores fixes, dans un ensemble circonscrit, par des pulsations venant du dehors, mais cette conception, il ne faudra pas l'oublier, apporte avec elle ses conditions spéciales.

A ceux qui s'appuieraient sur des considérations analytiques, je dirai d'avance que je ne suis pas disposé à identifier une impulsion avec une onde de petite longueur et sans dépression, ni à attacher à un certain état initial des conditions portant atteinte au caractère qu'on a commencé par lui attribuer. Finalement, j'invite la partie adverse à ne pas perdre de vue qu'un amas de pierres, même précédé d'un signe d'intégration, n'est pas encore un édifice.

Il n'est peut-être pas hors de propos d'avertir ici que le Mémoire qu'on vient de lire n'est pas une simple traduction de celui qui a paru il y a quelque temps dans les *Verslagen en Mededeelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen.* J'ai fait à mon travail des additions et des changements assez nombreux pour que sa forme présente puisse être considérée comme une édition nouvelle, revue et augmentée.

SUR

L'ANATOMIE DES ASTÉRIDES,

PAR

C. K. HOFFMANN.

Les matériaux de ce travail, qui fait suite à celui que j'ai publié sur les Echinides [1]), ont été fournis principalement par l'*Asteracanthion rubens*, si commun sur nos côtes. Malheureusement, l'occasion m'a manqué d'étudier sur les bords de la Méditerranée d'autres genres d'Astérides, en particulier des Bisériées, et de les comparer avec les Quadrisériées, de sorte que tous les détails, là où le contraire n'est pas expressément mentionné, se rapportent à cette dernière division. Les recherches ont été faites en partie durant un séjour de plusieurs semaines à Zandvoort, station balnéaire sur les côtes de la mer du Nord, près de Harlem, et en partie sur des animaux envoyés successivement à l'état frais.

La Peau et ses appendices.

L'enveloppe cutanée extérieure des Astérides est recouverte d'un épithélium, dont la surface porte une cuticule fine mais bien distincte (Pl. I, fig. 1). Çà et là, la cuticule est chargée de cils

[1]) C. K. Hoffmann, *Zur Anatomie der Echinen und Spatangen*, dans *Niederl. Archiv f. Zool.*, t. I, 1871, p. 11.

vibratiles extrêmement déliés et assez longs. A l'état frais, l'épithélium est très difficile à isoler; l'opération réussit au contraire très bien après 2 ou 3 jours de macération dans le bichromate de potasse à 3—4 pCt. On reconnaît alors que cet épithélium se compose de cellules cylindriques très étroites, longues de 0,028—0,036 mm. (fig. 2). A la partie périphérique de ces cellules sont déposées des granulations pigmentaires d'une ténuité excessive, diversement colorées, d'où dérive la couleur propre de la peau. Vers leur milieu, les cellules présentent un renflement, dans lequel se trouve un noyau à contours très pâles. Leur bout central est ordinairement di-ou trichotome. Dans les couches inférieures on remarque quelques cellules rondes, qui sont également imprégnées de granulations pigmentaires très fines (fig. 3). L'épithélium à cils vibratiles s'étend sur tous les appendices de la peau, tels que piquants, branchies cutanées, pédicellaires, etc. La peau elle-même est formée de faisceaux de tissu conjonctif, onduleux, entrecroisés en un lacis dense, et qui ressemblent complétement à ceux du tissu conjonctif fibrillaire des animaux supérieurs (fig. 4). Des éléments celluleux n'ont toutefois pas été rencontrés entre les fibrilles. Même après le traitement par le chlorure d'or on n'a rien trouvé de semblable. Quelques recherches faites dans le laboratoire physiologique de Leyde, grâce à l'appui bienveillant de M. le professeur Heynsius, m'ont appris que ce tissu ne donne pas de colle, et ne peut par conséquent être identifié avec le vrai tissu conjonctif fibrillaire.

A l'intérieur, la peau est tapissée d'une membrane de tissu conjonctif entremêlé de fibres musculaires, laquelle porte également un épithélium vibratile. C'est surtout au côté dorsal que les fibres musculaires atteignent leur plus grand développement. On y trouve, en effet, cinq faisceaux musculaires rayonnants assez forts (Pl. II, fig. 21*b*), qui naissent d'un point commun, au centre de la face dorsale, sur les trabécules de tissu conjonctif qui font saillie dans la cavité du corps, et de ce point s'étendent en divergeant dans les bras. Au commencement de leur trajet, les fibres musculaires sont unies en faisceaux assez serrés, mais vers

le bout des bras elles se distribuent d'une manière plus uniforme dans la peau dorsale. Par la contraction de ces faisceaux musculaires rayonnants, les extrémités des bras peuvent se recourber en dessus.

Sur toute l'étendue des faces dorsale et latérales, et aussi sur la face ventrale au pourtour du sillon ambulacraire, on remarque un très grand nombre d'appendices creux, en communication avec la cavité du corps, qu'on appelle ordinairement des branchies cutanées (Pl. I, fig. 5). Ces branchies cutanées sont des expansions de la membrane qui tapisse en dedans la peau générale du corps. Elles se composent d'une couche externe de tissu conjonctif et d'une couche interne de fibres musculaires longitudinales, et sont revêtues en dedans d'un épithélium à cils vibratiles. Grâce aux fibres musculaires, les branchies cutanées peuvent alternativement saillir ou rentrer, tandis que l'épithélium vibratile entretient un mouvement incessant dans l'eau de mer qui, par la cavité du corps, pénètre à l'intérieur de ces organes.

Sur toute la surface du corps, et particulièrement dans la région du sillon ambulacraire, se trouvent des pédicellaires. Contrairement à ce qui a lieu chez les Echinides, les pédicellaires des Astérides ne sont pas trivalves, mais bivalves, et, au lieu d'être portés sur une tige musculeuse, ils sont fixés directement sur la peau extérieure. Par suite de l'absence de la tige musculeuse, leur mouvement doit être d'une autre nature que chez les Echinides. Vers la partie médiane, chacune des deux mâchoires de la pince présente un petit tubercule saillant, servant à l'insertion des fibres musculaires qui partent de la pièce basilaire (fig. 6). La signification de ces pédicellaires est, de même que chez les Echinides, entièrement inconnue.

Les fibres musculaires qui existent entre les plaques ambulacraires se laissent très difficilement isoler à l'était frais, et ordinairement on n'en obtient que des fragments. La présence d'un sarcolemme n'a jamais pu être constatée.

Avec la lentille à immersion (Hartnack $^{3}/_{10}$), la substance contractile se montre parfaitement homogène. Jamais on n'a observé

un double système de stries obliques, tel que M. Schwalbe [1]) croit l'avoir vu dans ce même genre *Asteracanthion* (*Uraster*) et chez les *Asteriscus*. Après le traitement par une dissolution de bichromate de potasse à 3 pCt., la séparation des fibres se fait avec un plein succès. On obtient alors les formes aplaties et ramifiées déjà bien décrites par M. Schwalbe, sur les côtés desquelles s'insèrent, par une base triangulaire, des fibrilles déliées et pourvues çà et là de nodosités, comme chez les Oursins (fig. 7). Pas plus que M. Schwalbe, je n'ai pu décider s'il s'agit ici de produits artificiels ou bien de formes naturelles (fibres ramifiées avec terminaisons nerveuses?). Les solutions de chlorure d'or et d'acide osmique ont également laissé la question indécise. Des formes analogues ont aussi été décrites par M. Weissmann [2]) dans la paroi des vésicules ambulacraires.

La structure des parties calcaires du corps des Astérides est tout à fait la même que chez les Echinides.

Les Organes de la digestion.

En ce qui concerne leurs rapports anatomiques les plus apparents, les organes de la digestion sont suffisamment connus depuis les recherches de Tiedemann [3]) et de Joh. Müller [4]). La membrane buccale est formée d'une couche dense de tissu conjonctif entrecroisé de fibres musculaires circulaires, laquelle couche est garnie de cils vibratiles sur les deux faces. Au centre de cette membrane se trouve la bouche, qui est ronde, très contractile, et se continue

---

[1]) G. Schwalbe, *Ueber den feineren Bau der Muskelfasern wirbelloser Thiere*, dans M. Schultze's *Archiv*, t. V, 1869, p. 205.

[2]) Weismann, *Zur Histologie der Muskeln*, dans *Zeitschrift f. rat. Medicin*, t. XXIII, 1865, p. 26.

[3]) F. Tiedemann, *Anatomie der Röhren-Holothurie, des pomerangfarb. Seesterns*, etc., 1816, p. 42.

[4]) Joh. Müller, *Ueber den Bau der Echinodermen*, dans *Abh. der Berliner Akademie*, 1853, et dans Muller's *Archiv*, 1853.

sans limites déterminées avec un œsophage court, qui conduit dans un estomac pourvu de 5 paires de cæcums. Le canal intestinal tout entier est revêtu extérieurement d'une mince membrane mésentérique (de tissu conjonctif), chargée de cils vibratiles. Dans l'estomac on peut distinguer deux couches principales, une couche musculeuse et une couche de tissu conjonctif. La première est composée de fibres longues et très minces. Ces fibres ne montrent aucune disposition régulière, mais se croisent en divers sens. Après quelques jours de traitement par une dissolution étendue de bichromate de potasse, elles se laissent parfaitement isoler. La couche de tissu conjonctif est très fortement plissée (fig. 7), et peut être divisée à son tour en une couche conjonctive proprement dite et une couche cellulaire.

La couche conjonctive proprement dite est constituée par des fibrilles de tissu conjonctif onduleuses et très déliées, la couche cellulaire par un réticulum délicat (fig. 10), dans lequel sont déposés les éléments cellulaires. Je n'ai jamais réussi, toutefois, à bien isoler ces éléments cellulaires. En dedans, l'estomac est entièrement tapissé d'un épithélium vibratile (fig. 8). Les deux appendices creux et un peu contournés qui se trouvent sur la face extérieure de l'estomac, au centre de sa paroi supérieure, et qui ont déjà été décrits par Tiedemann [1]), ont tout à fait la structure de la paroi stomacale. Leur contenu constitue un liquide jaune, qui enveloppe des cellules rondes, granuleuses, en nombre plus ou moins grand. Les cæcums pairs dont l'estomac est pourvu, et qui naissent d'une tige commune (comme chez les *Asteracanthion*) ou bien sont déjà séparés dès l'origine, se composent d'une membrane délicate de tissu conjonctif et d'un contenu celluleux.

Les éléments celluleux (fig. 9) ont un diamètre de 0,008—0,010 mm., et sont les uns d'un aspect assez homogène, les autres remplis de globules brillants, semblables à des gouttelettes huileuses. L'estomac et les cæcums sont fixés par de petits ligaments

---

[1]) Tiedemann, *l. c.*

minces à la paroi interne du corps. Ces petits ligaments mésentériques sont constitués également par du tissu conjonctif couvert de cils vibratiles.

Les 10 ligaments plats qui, naissant de la face inférieure de l'estomac, se dirigent par paires dans les bras et servent à maintenir l'estomac dans sa position, sont composés de faisceaux de tissu conjonctif entremêlés de fibres musculaires.

Aussi bien chez l'*Asteracanthion rubens* que chez l'*A. violaceus*, l'anus manque, comme l'avait déjà constaté Tiedemann [1]).

Par l'ouverture buccale l'œsophage et la partie antérieure (inférieure) de l'estomac sont susceptibles de se renverser au dehors, ce qui facilite sans doute beaucoup l'introduction des matières alimentaires. Les Etoiles de mer sont très voraces, et c'est un sujet d'étonnement de voir la taille relativement colossale des animaux qu'elles peuvent engloutir.

Organes de la génération.

La situation des 10 glandes sexuelles des Astérides est suffisamment connue. Bien que Tiedemann [2]) n'ait pas trouvé d'organes mâles, on a pourtant constaté postérieurement que chez les Astérides, aussi bien que chez les Echinides, les sexes sont toujours séparés. Les organes mâles et femelles ont une structure complétement analogue. Jusqu'à présent on n'a pas découvert de conduits excréteurs bien évidents; plus loin nous dirons ce qu'il y a de plus probable à cet égard.

Les glandes sont formées de tubes en cul-de-sac, ramifiés en grappe. A l'état de non-maturité sexuelle elles ne pénètrent que fort peu dans les bras, à l'état de maturité elles s'y étendent au contraire assez loin. Sur nos côtes, le moment de la maturité sexuelle, chez les Astérides, tombe ordinairement au printemps et en automne; pendant les mois chauds de l'été je n'ai jamais

---

[1]) Tiedemann, *l. c.*, p. 46.

[2]) Tiedemann, *l. c.*, p. 62.

rencontré d'Astérides à produits sexuels mûrs. Les tubes glandulaires sont, comme tous les organes internes, recouverts de cils vibratiles. Ces cils sont portés par une membrane de tissu conjonctif, homogène et très délicate. Vient ensuite une mince couche de fibres musculaires transversales; puis, en dedans, de nouveau une couche homogène et délicate, qui est tapissée d'un épithélium à petites cellules.

Les œufs mûrs, qui sont assez grands et dont la forme est arrondie ou en poire, se composent d'un vitellus à grosses granulations et d'un noyau à granulations fines, lequel contient souvent 1—10 nucléoles. Le vitellus est en outre entouré d'une membrane homogéne, épaisse de 0,003 mm. (membrane vitelline).

Les spermatozoïdes sont formés, comme chez les Echinides, d'un corps arrondi très petit, et d'une queue capillaire. Ils possèdent un mouvement extrêmement vif, qui peut persister pendant plus de 24 heures après la mort.

De même que chez les Echinides et les Holothurides, les cellules ovulaires et les cellules mères des spermatozoïdes se forment aux dépens de l'épithélium interne des follicules de la glande sexuelle.

Le Système nerveux et les organes des sens.

Les premières données sur le système nerveux des Astérides sont dues à Tiedemann [1]). Chez l'*Astropecten aurantiacus*, il décrit un vaisseau orangé, entourant circulairement la bouche et envoyant dans chaque bras une branche, qui s'étend, en devenant successivement plus étroite, jusqu'à la pointe du bras. Après l'enlèvement de ce vaisseau, apparaît un second anneau, de couleur blanche, qui entoure également la bouche et émet un filament blanc dans chacun des rayons; c'est cet anneau, avec les filaments qui en naissent, que Tiedemann décrit comme le système nerveux.

[1]) Tiedemann, *l. c.*, p. 62.

Joh. Müller [1]) regarda le vaisseau orangé de Tiedemann comme l'anneau nerveux, qui enverrait dans les sillons ambulacraires cinq branches plates et larges. Entre les fibres longitudinales qui composent en grande partie ces cinq feuilles molles, se trouverait une lame mince, mais fibreuse, semblable à une cloison, qui serait, suivant Müller, le nerf de Tiedemann.

M. Haeckel [2]) a soumis le système nerveux à des recherches histologiques exactes.

M. Wilson [3]) l'a étudié le premier sur des coupes transversales. De même que ses prédécesseurs, il décrit les troncs nerveux comme des cordons solides. M. Owsjannikow [4]), au contraire, déclare que ces troncs sont des canaux creux. A part les cellules nerveuses et les fibres nerveuses, on ne trouve, d'apres lui, aucun autre élément histologique dans le système nerveux. M. Greeff [5]) décrit également les nerfs comme des tubes ou canaux s'anastomosant continuellement les uns avec les autres, et dans la cavité desquels circule un liquide analogue au sang.

Pour se faire une bonne idée du système nerveux, le mieux est de pratiquer des coupes transversales à travers toute l'épaisseur d'un bras.

Les fig. 11 et 12 représentent une pareille coupe transversale; *a* sont les petites plaques calcaires spondyloïdes du sillon ambulacraire, *b* le vaisseau lymphatique radial, *cc* les vésicules ambulacraires, *dd* les cirres ambulacraires, *e* le tronc nerveux, qui présente une forme triangulaire. La base de ce triangle est

---

[1]) Joh. Müller, *Anatomische Studien über die Echinodermen*, dans Müller's *Archiv*, 1850, p. 117, et *Abhandl. der Königl. Akad. der Wisschenschaften*, Berlin, 1853, p. 123.

[2]) Haeckel, *Zeitschrift f. wiss. Zoologie*, t. X, 1860, p. 183.

[3]) Henry S. Wilson, *The nervous system of the Asteriden*, dans *Transactions of the Linnean Society*, 1862, t. XXIII, p. 107.

[4]) Ph. Owsjannikow, *Ueber das Nervensystem der Seesterne*, dans *Mélanges biologiques tirés du Bulletin de l'Académie de St. Pétersbourg*, 18 Mars 1871. *Bulletin de l'Académie impériale des sciences de St. Pétersbourg*, t. XV, 1870.

[5]) R. Greeff, *Ueber den Bau der Echinodermen*, dans *Sitzungsbericht der Gesellschaft zur Beförd. der gesammten Naturw.* Marburg, N°. 8, 1871, N° 6, 1872.

formée par une lame solide de tissu conjonctif, constituant une cloison longitudinale *g* entre le canal lymphatique radial et le nerf, tandis que les côtés latéraux sont formés par deux ligaments plats, qui renferment les éléments nerveux proprement dits, et qu'on peut appeler les „feuillets nerveux" *h h*. Les nerfs ne constituent pas des cordons solides, mais au contraire des canaux creux. La cavité de ces canaux nerveux n'est toutefois pas simple. A leur intérieur, on remarque d'abord une lame verticale *f*, qui vers le bas s'insère au sommet du triangle, tandis que vers le haut elle se divise en deux moitiés latérales. De cette manière, la cavité simple du canal nerveux se trouve partagée en trois espaces, dont deux plus petits, égaux entre eux et placés symétriquement, et un plus grand, situé sur la ligne médiane. Dans la cavité du canal nerveux circule, comme on le verra plus loin, du liquide sanguin. La lame verticale, qui représente, ainsi que Joh. Müller l'avait déjà reconnu, le nerf de Tiedemann, se continue sur le disque buccal, où elle forme également un anneau pentagonal, qui constitue la paroi de séparation entre l'anneau oral sanguin et l'anneau lymphatique. D'après M. Greeff [1]), le tronc nerveux radial ne serait pas traversé par trois mais par quatre canaux, la lame verticale ne se partageant pas, vers le haut, en deux mais en trois feuillets, d'où résulteraient deux espaces plus grands, égaux entre eux et placés symétriquement, et deux espaces plus petits.

Les feuillets nerveux, toutefois, ne se terminent pas aux deux côtés du sillon ambulacraire et à la base des cirres. Si, en effet, on étudie avec soin de bonnes coupes transversales, on constate que ces feuillets, devenus graduellement plus étroits, se réfléchissent, se continuent directement avec la peau des cirres, et constituent celle-ci. En réalité, ils ne doivent être regardés, comme M. Greeff [2]) l'a très justement fait remarquer, que comme un prolongement ou une expansion de la peau externe, à laquelle ils se lient directement, non-seulement par l'intermédiaire des

---

[1]) R. Greeff, *l. c.*, N°. 6, 1872.

[2]) R. Greeff, *l. c.*, N. O., 1871.

cirres, mais aussi en d'autres points, dans les intervalles des cirres. La preuve de ce qui vient d'être avancé ne découle pas seulement de la structure des cirres, telle que nous la ferons connaître en parlant du système lymphatique, mais aussi de la petite expérience que voici. Si l'on irrite le tronc nerveux en un point quelconque, les cirres placés au voisinage du point irrité se contractent. Si l'on irrite un des cirres, l'effet produit est exactement le même. Que l'on irrite l'anneau nerveux ou bien les troncs nerveux radiaux, cela ne fait aucune différence. L'influence de l'irritation ne s'étend pas aux cirres situés à une distance plus grande du point irrité.

La substance nerveuse renfermée dans les feuillets nerveux se continue aussi, en partie, de l'autre côté, sur la lame verticale. Il existe par conséquent une relation intime entre les canaux sanguins et nerveux; le nerf et les vaisseaux sont unis de manière à ne pouvoir être séparés, le premier formant, pour ainsi dire, la paroi des seconds. La lame verticale, par laquelle la cavité du canal nerveux est divisée en trois parties, se compose de tissu conjonctif entremêlé de fibres musculaires. Par l'action de ces fibres, le nerf peut être retiré plus profondément dans le sillon ambulacraire, et en même temps il en résulte une impulsion pour le mouvement progressif du sang. Les faces externes de la lame verticale sont formées de cellules, qui par leurs caractères essentiels ressemblent à celles des feuillets nerveux. M. Owsjannikow [1]) décrit la lame verticale comme un ligament élastique.

La structure histologique des troncs nerveux radiaux est exactement la même que celle de l'anneau nerveux; de sorte que tout ce qui sera dit des premiers s'appliquera aussi au second.

A l'extérieur les troncs nerveux sont revêtus de cils vibratiles, au-dessous desquels se trouve une cuticule d'environ 0,002—0,003 mm. d'épaisseur, et ensuite un très petit épithélium pavimenteux. Après l'épithélium pavimenteux, vient la substance nerveuse proprement dite. La structure histologique de cette substance est très

---

[1]) Owsjannikow, *l. c.*

difficile à étudier à l'état frais, de sorte qu'on est obligé d'avoir recours aux réactifs.

Celui qui m'a réussi le mieux est l'acide osmique, à 0,1 pour cent. J'arrachai d'abord les cirres ambulacraires d'un des bras, détachai ensuite par deux incisions longitudinales le nerf du sillon ambulacraire, et le portai avec précaution dans la solution osmique. En opérant ainsi, une partie de la lame verticale reste ordinairement adhérente au nerf. Suivant que les préparations sont destinées à montrer simplement le nerf isolé ou à fournir des coupes transversales minces, on les laisse dans la liqueur pendant 8—24 heures.

L'étude microscopique apprend maintenant que les feuillets nerveux renferment un très grand nombre de cellules ganglionnaires. Dans chacune de ces cellules (fig. 14), dont le diamètre varie de 0,005 à 0,008 mm., on remarque un très grand noyau, qui remplit presque entièrement la cavité de la cellule. A l'intérieur du noyau se trouve un nucléole. Le protoplasme des cellules est très finement granuleux. De chaque cellule naissent ordinairement deux prolongements ou fibres (fibres nerveuses), l'une centrale, l'autre périphérique. La première est en général plus courte que la seconde, qui parfois se divise dichotomiquement. Les fibres sont d'une finesse qui ne permet aucune mesure, manquent aussi bien de gaîne médullaire que de paroi propre, et ne se composent que de cylindres-axes. Les prolongements des cellules nerveuses, aussi bien les centraux que les périphériques, peuvent offrir de très belles varicosités. Les fibres se croisent dans toutes les directions. Les cellules et les fibres sont plongées dans une substance fondamentale, qui ressemble un peu à la substance cérébrale grise des animaux supérieurs (fig. 13).

Outre ces éléments, on trouve encore dans les feuillets nerveux des fibres bacillaires, qui suivent généralement une direction radiale. Leur nature m'est restée inconnue. Elles ne sont pas en connexion avec les cellules nerveuses.

Le bout périphérique de chaque nerf ambulacraire porte deux organes sensitifs, l'œil et le palpe. Si l'on suit le nerf ambulacraire au dehors, chez une Etoile de mer vivante, on trouve en

effet que, arrivé vers l'extrémité du bras, il ne se termine pas à la surface interne du sillon, mais se sépare d'elle en ce point, et se bifurque ensuite en deux branches, une supérieure et une inférieure. La branche inférieure, plus courte et en forme de bouton, porte l'œil, qui est connu depuis longtemps;. la supérieure, plus longue et plus épaisse, est le palpe.

Il y a déjà environ 12 ans que le palpe a été découvert et décrit par M. Wilson [1]), mais le fait a passé presque inaperçu, et ce n'est que tout récemment que M. Greeff [2]) a de nouveau attiré l'attention sur lui. Le palpe n'a rien de commun avec les cirres qui l'entourent; il s'en laisse distinguer avec certitude, ainsi que M. Greeff l'a déjà remarqué, par son origine du tronc nerveux radial, par sa connexion directe avec l'œil, par sa situation et sa direction impaires, par sa forme arrondie en avant et son épaisseur, par sa couleur jaune, par ses phénomènes de mouvement différents, etc.

La structure histologique du palpe s'accorde en général avec celle du nerf. La face inférieure est couverte de cils vibratiles, mais à la pointe et á la face supérieure ils paraissent manquer. Les cils vibratiles sont insérés sur une cuticule; quant à un épithélium pavimenteux faisant suite à celle-ci, comme dans les feuillets nerveux, je n'ai pu le découvrir.

Lorsqu'on veut étudier la structure histologique du palpe, c'est encore de l'emploi de l'acide osmique qu'on se trouve le mieux. Après 24 heures de séjour dans une solution à 0,1 pour cent, le durcissement est ordinairement assez avancé pour qu'on puisse préparer de minces coupes transversales. La composition anatomique du palpe correspond exactement à celle des feuillets nerveux. Il ne consiste qu'en cellules nerveuses et en fibres nerveuses (fig. 15), ces dernières offrant de très belles varicosités; les fibres bacillaires, que nous avons signalées dans les feuillets nerveux, font défaut au palpe. Intérieurement le palpe présente une cavité, qui est en communication avec celle des troncs nerveux radiaux;

[1]) Wilson, *Transactions of the Linnean Society*, XXIII, p. 107, 1860.

[2]) R. Greeff, *l. c.* N°. 8. p. 2, 1871.

la lame verticale se prolonge dans cette cavité et s'insère à la pointe du palpe. Grâce aux fibres musculaires que renferme cette lame verticale, le palpe peut passer de l'état d'extension à celui de rétraction.

L'œil embrasse à demi le palpe, qui s'avance au-dessus de lui en s'y soudant par sa base. Quand l'Astérie relève la pointe de ses rayons, ce qui arrive ordinairement lorsque l'animal rampe, l'œil, qui alors est tourné en haut et en dehors, parfois même en haut et en dedans, se trouve, d'après la remarque de M. Greeff, comme à cheval sur le palpe long et cylindrique, qui fait saillie au-dessous de lui. La base du palpe, sur laquelle l'œil repose, paraît être la partie décrite par MM. Ehrenberg et Haeckel comme le support de l'œil.

L'œil des Astéries appartient aux yeux composés (Haeckel). Sa surface est recouverte d'une cuticule hyaline homogène, épaisse de 0,002 mm., après laquelle vient, comme dans les troncs nerveux, un mince épithélium pavimenteux, dont les cellules polygonales, larges de 0,005 mm., contiennent un noyau d'un diamètre de 0,002 mm. Au-dessous de l'épithélium, se trouve une couche parenchymateuse assez épaisse et nettement limitée en dedans, dans laquelle sont plongés les organes visuels proprement dits. Ceux-ci consistent en un nombre plus ou moins considérable, suivant l'âge et la grandeur, de cônes pigmentaires colorés en rouge clair, éloignés entre eux d'une distance égale à leur diamètre, et ayant leur base dirigée en dehors, leur pointe tournée vers la ligne longitudinale médiane de l'œil. Ces cônes pigmentaires, qui mesurent 0,06—0,08 mm. de longueur et 0,025—0,028 mm. de largeur à la base, sont placés de telle sorte que les plus longs touchent le milieu, les plus courts les bords.

Les cônes pigmentaires, ou entonnoirs pigmentaires, sont remplis d'une substance molle, hyaline, que la pression fait ordinairement saillir au dehors, et qui a été décrite par M. Haeckel [1]) comme une lentille sphérique.

Pour l'examen de la structure histologique de l'œil des Astéries,

[1]) E. Haeckel, *Zeitschrift f. wiss. Zoologie*, t. X, 1860, p. 183.

c'est de nouveau la solution d'acide osmique qui se recommande spécialement. Le pigment rouge clair se change alors en un pigment brun foncé. Le pigment est déposé dans des cellules, dont la forme et la grandeur varient beaucoup, selon qu'elles sont plus rapprochées du centre ou des faces latérales du cône pigmentaire (fig. 18). Vers le centre elles ont une forme irrégulière, polygonale, vers la périphérie une forme plus cylindrique. Dans la plupart on distingue très nettement un noyau. A son bout extérieur chaque cellule émet un long appendice, simple ou ramifié, qui présente quelquefois, tout comme les fibres nerveuses, de très belles varicosités, et à l'intérieur duquel les fines granulations rouges du pigment sont alignées en chapelet. D'autres cellules, au contraire, n'émettent que des filaments dépourvus de pigment. Des dispositions analogues ont déjà été observées par M. Greeff [1]).

La structure de la substance molle, hyaline et en apparence homogène, qui occupe le centre des cônes pigmentaires, est extrêmement difficile à étudier, et ne m'a pas encore conduit à un résultat satisfaisant. Après le traitement par l'acide osmique, cette substance ne se montre plus homogène, mais composée de petits corpuscules nucléifères (fig. 19), superposés par couches. M. Greeff [2]) décrit également cette substance comme composée d'un grand nombre de petits corpuscules nucléifères, tandis que M. Mettenheimer [3]) la fait consister en cellules rondes, limpides, et en gouttelettes de myéline.

Les cellules pigmentaires situées au voisinage immédiat de la masse interne molle ne présentent qu'une trace du pigment rouge, de sorte qu'il paraît y avoir un passage graduel des cellules pigmentaires aux cellules incolores et extrêmement délicates qui sont situées à l'intérieur du cône pigmentaire. Ces dernières forment alors la masse interne molle de l'œil.

L'espace qui reste entre les cônes pigmentaires est rempli de

---

1) R. Greeff, *l. c.*, N°. 6, 1872.

2) R. Greeff, *l. c.*

3) C. Mettenheimer, *Ueber die Gesichtsorgane des violetten Seesterns der Ostsee*. dans Muller's *Archiv*, p. 210, 1862.

substance nerveuse, qui a la même structure histologique que les feuillets nerveux (fig. 16 et 17), sauf toutefois que les fibres bacillaires manquent, comme cela a lieu également dans le palpe.

Les systèmes des vaisseaux sanguins et lympathiques.

Le système sanguin.

Le système des vaisseaux sanguins des Astérides a été décrit pour la première fois par Tiedemann [1]), dont les observations ont été confirmées par Joh. Müller [2]). Dans ces derniers temps, l'existence réelle de ce système vasculaire sanguin a été plus d'une fois révoquée en doute. M. Jourdain [3]) refuse des vaisseaux sanguins aux Astérides; M. Greeff [4]) a partagé d'abord cette opinion, et moi-même je n'avais pu, à l'origine de mes recherches [5]), me convaincre de l'existence de ce système. Par une étude nouvelle, M. Greeff [6]) est toutefois arrivé à un résultat contraire, et après un séjour de plusieurs semaines sur les côtes de la Mer du Nord, où je pouvais examiner journellement des Astéries fraîches, j'ai également acquis la conviction que la description du système vasculaire sanguin, donnée par Tiedemann et Müller, est, en général, parfaitement exacte.

Le système circulatoire sanguin des Astérides (Pl. II, fig. 20) consiste essentiellement en deux anneaux vasculaires, un anneau dorsal et un anneau oral, qui communiquent entre eux au moyen

---

[1]) Tiedemann, *l. c.*, p. 49.

[2]) Joh. Müller, *l. c.*, *Archiv*, 1850, p. 117. *Berl. Abhandl.*, 1853, p. 123.

[3]) Jourdain, *Recherches sur l'appareil circulatoire etc.*, dans *Comptes rendus*, 2e Sér., t. LXV, p. 1002; 1867, N°. 24.

[4]) R. Greeff, *l. c.*, N°. 8, 1871.

[5]) *Niederl. Archiv f. Zoologie*, t. I, 2e fasc., p. 184.

[6]) R. Greeff, *l. c.*, N°. 6, 1872.

d'un canal en forme de sac. De l'anneau dorsal naissent 10 vaisseaux pour les glandes sexuelles, tandis que de l'anneau oral partent 5 branches, qui se rendent dans les sillons ambulacraires, où elles se divisent ultérieurement. A l'état naturel, les vaisseaux sont presque entièrement invisibles, et ce n'est qu'après un certain exercice qu'on parvient à découvrir l'anneau dorsal. Si l'on veut se former une idée exacte du cours des vaisseaux, il est absolument nécessaire de recourir aux injections. J'ai fait usage principalement des matières à injection transparentes et fluides à froid (carmin de Beale et bleu de Richardson). Ce qui m'a satisfait le mieux, c'est injecter d'abord le système des vaisseaux lymphatiques, et ensuite (avec une autre couleur) celui des vaisseaux sanguins. A cet effet, je coupais un des bras à une Astérie vivante, et j'injectais alors le système lymphatique, à partir du point sectionné, tandis que le système sanguin était ordinairement injecté en partant de l'anneau vasculaire dorsal.

L'anneau vasculaire dorsal (Pl. II, fig. 21) circonscrit presque tout le disque, en englobant l'anus chez les Astérides qui possèdent cette ouverture, mais non la plaque madréporique. A chacun des cinq angles rentrants des bras, là où la peau du dos se relie au disque buccal, le vaisseau annulaire fait une inflexion; il ne traverse toutefois pas la membrane de connexion, comme l'indique M. Greeff [1]), mais se recourbe simplement autour d'elle. L'anneau dorsal se trouve donc interrompu par cinq anses dirigées vers l'intérieur. Aux points où les anses s'infléchissent, il s'en détache vers l'extérieur deux vaisseaux, un de chaque côté de la membrane de connexion, en tout par conséquent 10 vaisseaux, qui se rendent aux 10 organes de la génération. Dans l'espace interbrachial où se trouve la plaque madréporique, le vaisseau annulaire décrit une inflexion plus profonde et contourne, au-dessous de la plaque madréporique, l'origine du canal pierreux, de sorte que ce dernier et la plaque madréporique (en grande partie) sont situés en dehors de l'anneau (fig. 21).

---

[1]) R. Greef, *l. c.* No. 6, 1872, p. 94.

Quand on injecte en un point quelconque l'anneau vasculaire dorsal, non-seulement les 10 vaisseaux des glandes sexuelles se remplissent, mais le liquide pénètre aussi dans le canal sacciforme qui, partant de tout le contour de la plaque madréporique, enveloppe le canal pierreux, avec lequel il est en partie intimement soudé, et s'abouche inférieurement avec l'anneau sanguin oral. Ce canal sacciforme, que Tiedemann a nommé le „cœur", n'enveloppe pas seulement le canal pierreux, dont l'origine ne correspond qu'à une petite partie de la surface de la plaque madréporique, mais aussi un corps d'apparence glanduleuse, dont la signification, toutefois, m'est restée absolument inconnue.

En outre, au bord intérieur de la jonction entre la plaque madréporique et l'origine du canal sacciforme, on voit encore, chez l'*Asteracanthion rubens*, deux autres organes d'apparence glanduleuse (Pl. II, fig. 21), déjà remarqués par M. Greeff [1]). Ces deux organes pénètrent par leurs extrémités extérieures, qui convergent vers le canal pierreux, dans le canal sacciforme, tandis que les extrémités opposées font librement saillie dans la cavité du corps.

Existe-t-il, comme le présume M. Greeff, une communication entre ces deux organes et le corps glanduliforme dont il a été question tout à l'heure? Je n'ose rien décider à cet égard; toutefois, la chose me paraît peu probable. Quand on pousse des injections en un point de l'anneau vasculaire dorsal, le liquide coloré remplit bien les deux organes qui s'étendent librement dans la cavité du corps, mais non le corps adénoïde renfermé dans le canal sacciforme.

Du canal sacciforme, la masse colorée pénètre dans l'anneau vasculaire oral, en même temps qu'elle s'échappe au dehors par la plaque madréporique. Il y a donc une communication directe entre l'appareil circulatoire sanguin et l'eau de mer. L'eau de mer s'introduit par la plaque madréporique dans le canal pierreux du système vasculaire lymphatique, et par le canal sacciforme, qui

---

[1]) R. Greef, *l. c.*

relie entre eux les anneaux vasculaires dorsal et oral, dans le système des vaisseaux sanguins. M. Greeff [1]) constate également, entre l'anneau dorsal et l'anneau oral, l'existence d'une communication, s'établissant par la dilatation en sac du canal pierreux (canal sacciforme). Il pense toutefois que la communication n'occupe pas la cavité entière de cette dilatation, mais se fait par deux vaisseaux particuliers, situés à côté du canal pierreux et enveloppés, comme lui, par le sac membraneux commun. Mes propres recherches ne m'ont pas montré ces deux vaisseaux particuliers.

Pour arriver dans l'anneau vasculaire oral, qui est situé au-dessus ou, pour mieux dire, au-dessous de la membrane buccale, et par conséquent en dehors de la cavité du corps, le canal sacciforme doit traverser la membrane buccale. L'anneau oral a une forme pentagonale. De chacun des cinq angles de ce pentagone part un vaisseau, qui se rend dans le sillon ambulacraire et qu'on peut suivre jusqu'à la pointe des bras, comme Joh. Müller [2]) l'avait déjà indiqué (Pl. II, fig. 21). Extérieurement à l'anneau oral se trouve l'anneau vasculaire lymphatique, qui est également de forme pentagonale. L'anneau oral sanguin et l'anneau oral lymphatique sont séparés entre eux par un troisième anneau pentagonal. Celui-ci est la continuation de la lame verticale décrite à l'occasion du système nerveux, et on peut l'appeler l'anneau lamineux. La formation de cet anneau lamineux n'est toutefois pas due exclusivement à la lame verticale, mais aussi, pour une part, à la forte cloison longitudinale de tissu conjonctif, qui, dans le sillon ambulacraire, sépare entre eux le nerf et le vaisseau lymphatique radial. On pourrait aussi exprimer ces rapports en disant que l'anneau lamineux pentagonal, à chacun de ses angles, envoie dans le sillon ambulacraire un prolongement, qui s'étend jusqu'au bout du bras et qui, peu après s'être détaché de l'anneau, se partage en deux feuillets, dont l'un forme la cloison entre le vaisseau lymphatique radial et le canal nerveux, tandis que l'autre

[1]) R. Greeff, *l. c.*, No. 6, p. 96.

[2]) Joh. Müller, *Archiv*, 1850, p. 1.

constitue, à l'intérieur du canal nerveux, la „lame verticale". L'anneau oral sanguin, l'anneau lymphatique et l'anneau lamineux sont maintenant, tous ensemble, recouverts par l'anneau pentagonal nerveux. Le fait que l'anneau sanguin oral est recouvert par le nerf, était déjà connu de Tiedemann [1]), car il dit: „Quand on a enlevé le vaisseau orange (le nerf), on peut reconnaître la couronne vasculaire (orale)".

Les vaisseaux qui, naissant des angles du pentagone vasculaire oral, se prolongent dans les sillons ambulacraires, peuvent être appelés vaisseaux radiaux principaux. Chacun d'eux pénètre à l'intérieur du canal nerveux correspondant, dans celle de ses trois cavités qui occupe la ligne médiane. A peu de distance du point où il s'est détaché de l'anneau vasculaire, le vaisseau radial principal perd ses parois propres; le sang est donc en contact immédiat avec la substance nerveuse; celle-ci forme la gaîne du vaisseau sanguin.

A côté du tronc radial principal on trouve encore deux autres vaisseaux, qu'on peut nommer les troncs radiaux secondaires médians, et qui pénètrent dans les deux petites cavités du canal nerveux, symétriques l'une de l'autre. Il existe donc à chaque sillon ambulacraire, renfermés dans la cavité du nerf, trois vaisseaux sanguins radiaux. Joh. Müller [2]) avait déjà dit que l'anneau vasculaire oral envoie dans chaque rayon une branche, qui émet à son tour deux courts rameaux secondaires. Il s'agit maintenant de savoir comment se forment ces deux rameaux radiaux secondaires. On ne peut le reconnaître que sur des préparations injectées très bien réussies. De chaque tronc radial principal partent aux deux côtés autant de branches transversales qu'il y a de cirres; ces branches ne sont pas opposées l'une à l'autre, mais, comme les cirres eux-mêmes, elles alternent entre elles. Chacune de ces branches transversales se courbe en forme de boucle autour du cirre, puis se continue, tout près de l'origine de la branche trans-

---

[1]) Tiedemann, *l. c.*, p, 51.

[2]) Joh. Müller, *Archiv*, 1850, p. 117.

versale suivante, avec le tronc radial secondaire. Du sommet des inflexions en forme de boucle naissent, en grand nombre, de nouvelles ramifications transversales, qui se dirigent entre les cirres de la seconde rangée, puis se continuent également, sur les deux côtés, avec un vaisseau sanguin radial, étendu le long de la partie latérale du sillon ambulacraire. Ces deux vaisseaux sanguins peuvent être désignés sous le nom de „troncs radiaux secondaires latéraux". Dans le sillon ambulacraire on trouve donc en réalité cinq troncs vasculaires radiaux, qui s'anastomosent entre eux au moyen de ramifications transversales placées entre les cirres. La description qui précède ne s'applique toutefois qu'aux Astérides à deux paires de cirres. Un examen spécial devra nous apprendre quelle est la disposition des vaisseaux sanguins dans le sillon ambulacraire chez les Astérides qui ne possèdent qu'une seule paire de cirres.

Les troncs radiaux secondaires latéraux de deux rayons voisins se recourbent et s'abouchent maintenant au-dessous de la pièce dure, odontoïde, fixée dans l'angle que ces rayons forment par leur rencontre près de la bouche. Il se forme ainsi, si l'on veut, un second anneau vasculaire oral, qu'on peut appeler l'anneau vasculaire oral latéral, et qui est également recouvert par l'anneau pentagonal nerveux, là où il se recourbe sous les pièces odontoïdes.

De cet anneau vasculaire oral (latéral) naissent cinq branches, qui, par de très petites ouvertures de l'anneau buccal calcaire, pénètrent, au-dessus des pièces odontoïdes, dans la cavité du corps, et paraissent se ramifier aux deux côtés de la membrane de connexion qui unit la peau dorsale au disque buccal (par conséquent à la face interne de la cavité du corps). La manière dont ces petits vaisseaux se comportent ultérieurement ne m'est pas complétement connue. Ils paraissent en partie se rendre aux organes sexuels, en partie former un réseau vasculaire lacuneux sur la face interne de la peau du corps. Quant à ce second point, toutefois, on ne peut se prononcer qu'avec beaucoup de circonspection, attendu qu'ici, dans le tissu conjonctif lâche, il se produit aisément des canaux vasculaires artificiels. Tiedemann [1]) aussi

avait déjà vu les petits vaisseaux dont il vient d'être question, mais il les fait naître de l'anneau vasculaire oral (principal) et se ramifier dans l'estomac et les caecums (fig. 23).

L'existence d'un système spécial de vaisseaux sanguins pour les viscères n'a pu être constatée dans mes recherches.

La manière dont les vaisseaux sanguins se ramifient dans les organes de la génération est très caractéristique. Si l'on regarde les glandes sexuelles à l'œil nu, on les voit suspendues, pour ainsi dire, aux vaisseaux, comme les glandes en général sont suspendues à leurs conduits excréteurs. Quand les organes de la génération sont injectés et qu'on les examine au microscope, les images sont exactement semblables à celles qu'on obtient en injectant une glande par son conduit excréteur. Les canaux sanguins ne forment pas des réseaux de vaisseaux capillaires, recouvrant le follicule, mais le vaisseau se ramifie dans la glande elle-même. Les parois du vaisseau se continuent avec celles de la glande, le sang pénètre librement dans les follicules glandulaires et coule autour des produits sexuels. Aussi est-il très probable, comme on le verra plus loin, que les vaisseaux sanguins se chargent du rôle de conduits excréteurs.

Les vaisseaux sanguins (anneaux dorsal et oral) sont revêtus extérieurement, comme tous les autres organes, d'une membrane vibratile; vient ensuite une couche de fibres musculaires circulaires, très minces et très serrées les unes contre les autres, puis en dedans, si je ne m'abuse, de nouveau une membrane de tissu conjonctif. Quant à savoir si les vaisseaux sont en outre encore tapissés d'un épithélium vibratile interne, c'est un point que je n'ose décider. Les vaisseaux sont trop étroits pour qu'on puisse les couper dans leur longueur. Je n'ai pas réussi non plus à en faire des coupes transversales.

Le canal sacciforme, qui naît de la plaque madréporique et unit l'anneau oral à l'anneau anal, est constitué par une membrane formée de tissu conjonctif onduleux et recouverte des deux côtés de cils vibratiles. L'espace qui reste entre le canal pierreux, le corps glanduliforme et cette membrane, est remplie d'un

liquide qui renferme les mêmes éléments cellulaires que le sang.

Ces éléments cellulaires (fig. 24) ont les uns des formes arrondies, les autres des formes ramifiées. Parmi les formes arrondies, dont le diamètre varie de 0,003—0,010 mm., on en rencontre aussi bien avec noyau que sans noyau. Leur protoplasme est ordinairement finement granuleux. On trouve, en outre, des sphères de 0,005—0,007 mm. de grosseur, à éclat mat, qui toutefois sont assez clair-semées. Les éléments les plus nombreux sont ceux à forme ramifiée, qui nagent dans le liquide les uns à l'état isolé, les autres agglomérés en petites masses. Leurs prolongements varient beaucoup quant à la forme et au nombre, et ils peuvent prendre parfois un développement très considérable. Plus les cellules sont ramifiées, plus leurs phénomènes de mouvement sont faibles.

Il nous reste maintenant encore à parler des corps glanduliformes. En ce qui concerne les deux corps qui pénètrent librement dans la cavité du corps, ceux-ci ont une structure analogue à celle des glandes en grappe. Les lobes et lobules glandulaires se composent d'une membrane homogène, tapissée de cils vibratiles, et d'un contenu celluleux. Lorsqu'on examine la glande à l'état frais sous le microscope, on voit encore pendant assez longtemps les follicules glandulaires se contracter rhythmiquement. Malgré de nombreuses recherches, et bien que les contractions et les dilatations alternent régulièrement, je n'ai pourtant jamais pu découvrir de fibres musculaires. Dans les parois extrêmement délicates des follicules glandulaires on remarque seulement des cordons épais, partout anastomosés entre eux, d'une substance finement granuleuse, qui ont l'aspect des cordons sarcodiques et ressemblent à peu près (quoique moins fortement développés) à ceux qu'on trouve dans la masse molle du corps du *Noctiluca miliaris*. Il me semble probable que le pouvoir de se contracter, manifesté par les parois des follicules, appartient à ces cordons.

Près de la plaque madréporique, où les lobules glandulaires sont plus ramassés entre eux et se réunissent en un large conduit excréteur commun, les parois deviennent plus épaisses, tandis que dans le conduit excréteur lui-même se montrent des faisceaux

de tissu conjonctif fibrillaire. Le contenu des vésicules glandulaires se compose de cellules, qui ressemblent entièrement à celles des „petits corps bruns" (*v.* Système lymphatique).

Le corps glanduleux situé à l'intérieur du canal sacciforme (le cœur de la plupart des auteurs) a une forme en poire allongée et une couleur bleu-rougeâtre, quelquefois violette. Sa partie supérieure, qui est la plus large, se trouve presque immédiatement au dessous de la plaque madréporique; l'inférieure, beaucoup plus étroite (la queue de la poire), est étendue tout à côté du canal pierreux et paraît déboucher dans l'anneau vasculaire oral. Comment se comporte la partie supérieure, si elle se termine en cul-de-sac, ou si elle s'enfonce dans le canal sacciforme par un orifice ouvert, c'est ce qu'il m'est impossible de dire. L'organe, qui est pourvu sur toute sa longueur d'appendices lobuleux ramifiés, présente à peu près la même structure que les deux autres glandes, avec cette différence toutefois, que les lobules glandulaires sont unis entre eux par de plus forts faisceaux de tissu conjonctif, et que les éléments celluleux sont plus ou moins colorés. Je n'ai pas vu la cavité vibratile interne, par laquelle, suivant M. Greeff [1]), les canaux ramifiés et également vibratiles à l'intérieur communiqueraient entre eux. Par contre, j'ai ici de nouveau observé très distinctement des phénomènes de contraction dans la glande, phénomènes qui avaient d'ailleurs déjà été signalés par Tiedemann, et qui avaient probablement conduit cet observateur distingué à décrire cette glande comme le „cœur" de l'animal. Si les glandes en question doivent être regardées comme des organes d'excrétion ou de respiration, ce qui est assez probable, la faculté de se contracter ne peut que leur être très utile.

Le Système lymphatique.

Le système vasculaire lymphatique commence à la plaque madréporique, qui est toujours située à la face dorsale, entre deux

[1]) Greeff, *l. c.* No. 6, p. 99.

[2]) Tiedemann, *l. c.*, p. 50.

rayons, et qui est entièrement analogue à celle des Echinides sous le rapport de la structure histologique. Le canal pierreux, qui naît à la face inférieure de la plaque madréporique, décrit une courbure en S et doit percer la membrane buccale avant de pouvoir se relier à l'anneau vasculaire lymphatique. Le système lymphatique est recouvert de cils vibratiles sur toute sa surface interne. Le canal pierreux se compose de 50—60 anneaux calcaires très délicats, rapprochés les uns des autres, unis de façon à conserver une certaine mobilité, et présentant tout à fait, dans leur structure histologique, le caractère bien spécial du tissu calcaire des Echinodermes. Ces anneaux calcaires sont revêtus d'une membrane de tissu conjonctif à l'extérieur et d'une autre à l'intérieur, la prêmière plus épaisse, la seconde plus mince, et sur lesquelles s'insèrent les cils vibratiles.

L'anneau vasculaire lymphatique, situé au-dessus de la membrane buccale, au côté extérieur de l'anneau sanguin, dont il est séparé par l'anneau lamineux, est recouvert, de même que ces anneaux sanguin et lamineux, par le pentagone nerveux. Avec l'anneau lymphatique, qui est très mince, très délicat et à peine visible chez les animaux non injectés, communiquent les vésicules de Poli, dont le nombre est variable, et qui peuvent même manquer complétement chez quelques espèces. C'est ainsi, par exemple, qu'on ne trouve pas les vésicules de Poli chez l'*Asteracanthion rubens*. Je les ai observées, au contraire, dans les genres *Solaster* et *Astropecten*, où Joh. Müller [1]) et Tiedemann [2]) les avaient déjà décrites. A l'anneau lymphatique se rattachent en outre les 10 petits corps bruns qui ont également déjà été décrits par Tiedemann [3]). Ces corps présentent une structure glanduleuse, et sont composés d'une grande multitude de follicules. (Pl. II, fig. 25). Ceux-ci consistent en une enveloppe très mince, formée de tissu conjonctif et garnie de cils vibratiles, et en un contenu qu'un fort grossissement montre composé de cellules pour-

---

[1]) Joh. Müller, *l. c.*

[2]) Tiedemann, *l. c.*

[3]) Tiedemann, *l. c.*

vues de nombreux prolongements et ressemblant tout à fait, sous le rapport histologique, aux éléments figurés qu'on trouve dans le liquide qui circule à l'intérieur du corps et dans le système ambulacraire (fig. 26). On est donc naturellement conduit à regarder ces petits corps glanduliformes comme les centres de production des éléments celluleux que renferme le système lymphatique. Ce sont peut-être des organes homologues au cœur lymphatique des Oursins et des Spatangues, lequel, d'après ses caractères histologiques, doit aussi très probablement être considéré comme le foyer où se forment les éléments celluleux qui circulent dans le réseau des vaisseaux lymphatiques [1]). M. Semper [2]), qui les a trouvés très grands chez le *Pteraster* des Philippines, dit à leur sujet: „Sie sind eine in einzelne Theile zerfallene Schlundkrause, denn ihre Verbindung mit dem Blut-und Wassergefässystem ist hier genau die gleiche, wie ich sie oben für die Holothurien angegeben habe. Durch Injectionen des Herzens bei jenem Seestern gelang es mir leicht, einmal den Gefässring und von ihm aus ein dichtes Gefässnetz in jenem braunen, drüsigen Körperchen Tiedemann's zu füllen. J. Müller hat ihre Homologie erkannt. Er nennt sie traubige Anhänge, aber er sagt, meines Wissens, nirgends etwas über ihre Verbindung mit dem Blutgefässsystem."

Les 5 canaux lymphatiques radiaux qui, naissant de l'anneau lymphatique, suivent le fond du sillon ambulacraire jusqu'au bout des bras, où ils paraissent se terminer en cul-de-sac, sont séparés du nerf sous-jacent par la forte cloison longitudinale formée de tissu conjonctif. Leurs parois consistent en un lacis dense de faisceaux conjonctifs, tapissé intérieurement d'une membrane homogène extrêmement délicate.

Les vésicules ambulacraires sont formées, de dehors en dedans, 1° d'une couche longitudinale et 2° d'une couche transversale de

---

[1]) C. K. Hoffmann, *Zur Anatomie der Echinen und Spatangeen*, dans *Nederl. Achiv f. Zool.*, t. I, 1871, p. 85.

[2]) C. Semper, *Reise im Archipel der Philippinen*, t. II. *Wissenschaftl, Reisen*, t. Bd. *Holothurien*, p. 118.

tissu conjonctif, 3° d'une couche de fibres musculaires, et 4° d'une membrane homogène mince. Il est très difficile de suivre les fibres musculaires dans leur trajet; pourtant il m'a paru qu'elles affectent principalement une direction circulaire. Les vésicules de Poli offrent la même structure histologique que les vésicules ambulacraires. Les unes et les autres sont d'ailleurs encore recouvertes à l'extérieur d'une membrane vibratile. Les cirres ambulacraires montrent, de dehors en dedans, la constitution suivante: 1° une couche nerveuse, continuation du tronc nerveux radial étendu au fond du sillon ambulacraire, laquelle enveloppe tout le cirre et aussi la ventouse; viennent ensuite, comme dans les vésicules ambulacraires, 2° une couche longitudinale et 3° une couche transversale de tissu conjonctif; 4° une forte couche de fibres musculaires longitudinales, 5° de nouveau une couche solide de tissu conjonctif, à fibres principalement radiales, et 6° une couche cellulaire dessinant à l'intérieur de la cavité une ligne onduleuse, et sur laquelle est étendu l'épithélium vibratile.

La couche nerveuse forme une membrane dont l'épaisseur varie, suivant le volume des cirres, de 0,06 à 0,014 mm., et dont la structure histologique est une répétition exacte de celle des feuillets nerveux. A l'extérieur on y trouve une cuticule épaisse de 0,002—0,003 mm., qui est couverte de cils vibratiles, et ensuite viennent les éléments nerveux proprement dits, plongés dans une substance fondamentale très finement granuleuse. Ces éléments nerveux (fig. 27, 28, 29) consistent, comme dans les feuillets nerveux, en cellules et en fibres. Les premières sont ordinairement plus petites, les secondes plus courtes que celles des troncs nerveux, auxquelles elles ressemblent d'ailleurs entièrement par la structure. Pour l'étude de la couche nerveuse c'est de nouveau la solution d'acide osmique qui convient le mieux. Après la macération dans des solutions faibles d'acide chromique ou de bichromate de potasse, la couche nerveuse entière se laisse quelquefois détacher des cirres. Les fibres musculaires des cirres ambulacraires, de même que celles des vésicules ambulacraires, ne diffèrent pas, en structure histologique, de celles de la peau extérieure du corps.

Dans les cirres je n'ai pu découvrir qu'une couche de fibres musculaires longitudinales, contrairement au résultat annoncé par M. Greeff [1]), qui dit positivement qu'il existe aussi une couche (intérieure) de fibres circulaires. Les fibres musculaires s'insèrent à la ventouse, dilatation en bourrelet, qui ne paraît formée que de tissu conjonctif. Aux cirres les plus petits, qui sont situés à l'extrémité des bras; les ventouses paraissent manquer; du moins, il m'a été impossible de les y reconnaître.

Les éléments celluleux qui nagent dans les canaux lymphatiques sont tout à fait semblables à ceux qu'on rencontre dans les vaisseaux sanguins et dans la cavité du corps.

Conclusion.

Ainsi qu'il a été dit à l'occasion de la description du système vasculaire sanguin, non-seulement le canal pierreux, mais aussi le vaisseau sacciforme qui l'entoure (le cœur des auteurs) sont en communication avec la plaque madréporique. L'eau de mer peut donc s'introduire directement tant dans le système sanguin que dans le système lymphatique. Il suit déjà de là qu'une séparation tranchée entre les deux systèmes n'est ici plus admissible.

En outre, on trouve aussi dans les deux systèmes les mêmes éléments celluleux. Si cette circonstance seule parle déjà en faveur d'une liaison entre les deux systèmes, il y a encore d'autres raisons qui me font regarder celle-ci comme très probable, bien que je doive avouer n'avoir pu découvrir, malgré de nombreux essais d'injection, la voie précise par laquelle la communication s'établit. Lorsqu'on injecte à partir d'un des canaux principaux du système lymphatique, de préférence à la base d'un bras retranché à l'Astérie vivante, on voit se remplir (avec la plus

---

[1]) R. Greeff, *l. c.*, N°. 6, 1872, p. 98.

grande facilité) non-seulement toutes les parties qui communiquent avec ce système de canaux, mais aussi les voies sanguines incluses dans les troncs nerveux radiaux.

M. Greeff [1]) a obtenu un résultat analogue. Les injections de matières colorantes, faites par lui sur un des canaux principaux du système lymphatique, n'ont pas seulemement pénétré dans le canal ambulacraire, mais aussi dans le conduit nerveux situé au-dessous de lui. En injectant de la base à la périphérie le bras détaché d'une Astérie, je n'ai jamais trouvé les matières colorantes dans les voies sanguines radiales; je les y constatais, au contraire, lorsque je pratiquais sur l'Astérie une injection centripète. On peut en conclure avec beaucoup de probabilité que la communication doit se faire au voisinage des anneaux vasculaires.

Cette présomption se trouve confirmée par une observation de M. Semper [2]), qui, chez le *Pteraster* des Philippines, a pu remplir par l'injection du cœur l'anneau vasculaire et, consécutivement, un réseau vasculaire serré dans les „petits corps bruns, glanduleux," qu'il compare à la fraise œsophagienne des Holothuries réduite à des parties isolées les unes des autres. Or les petits corps bruns sont en communication avec l'anneau lymphatique, comme l'a déjà montré Tiedemann [3]) et comme il appert de chaque essai d'injection. Le fait que les petits corps bruns se remplissent quand on injecte le système vasculaire sanguin, fournit donc une nouvelle preuve de la liaison des deux systèmes.

On sait que chez les Astérides, comme chez tous les Echinodermes, la cavité du corps est remplie d'un liquide, qui est composé d'eau de mer et d'éléments celluleux. Ces éléments celluleux sont entièrement conformes à ceux des systèmes vasculaires sanguin et lymphatique. Il s'agit de savoir d'où ce liquide provient.

Des ouvertures préformées, qui conduiraient l'eau de mer dans l'intérieur du corps, n'existent pas. Lorsqu'on injecte une masse colorée dans la cavité du corps, le liquide ne s'échappe nulle part

[1]) R. Greeff, *l. c.*, No. 8, 1871, p. 4.

[2]) C. Semper, *l. c.*, p. 118.

[3]) Tiedemann, *l. c.*

au dehors, si l'on n'exerce qu'une pression modérée. Quant la pression est trop forte, les délicates branchies cutanées se déchirent. Des ouvertures préformées ne sont d'ailleurs nullement nécessaires, puisque, par osmose, l'eau de mer peut très facilement s'introduire, à travers la peau extérieure, dans la cavité du corps. Pour s'en convaincre, on n'a qu'à jeter une Astérie vivante dans une capsule remplie d'eau douce; l'animal se gonfle alors et prend une grosseur tout à fait démesurée. En outre, une diffusion peut encore se faire à travers les minces parois du canal sacciforme, et il est possible aussi que l'eau de mer trouve un passage vers l'intérieur du corps aux bords de la plaque madréporique. Il est plus difficile d'expliquer l'origine des éléments celluleux. Une connexion déterminée entre les systèmes sanguin et lymphatique et le liquide accumulé dans la cavité du corps, n'a pu être constatée; toutefois, il est de nouveau très probable qu'une pareille connexion existe. Jusqu'à quel point les organes branchioïdes sont intéressés à une communication entre les deux systèmes vasculaires, c'est ce que je dois laisser indécis; pour la solution de cette question, il sera, je crois, très important d'étudier avec soin le cours des vaisseaux sanguins qui, par les ouvertures aux angles rentrants de la bouche, se rendent dans la cavité viscérale; d'autant plus que ces rameaux sanguins paraissent former de riches réseaux vasculaires à la face interne de la paroi du corps. Des individus grands et frais sont une première condition pour une pareille étude.

Sauf les ouvertures génitales qu'on trouve chez quelques Astérides, les conduits excréteurs des glandes sexuelles, et par conséquent aussi le mode d'évacuation des produits sexuels, sont jusqu'à présent inconnus. J'ai déjà signalé, dans une occasion antérieure [1]), le fait extrêmement remarquable que, chez les Oursins mâles, le liquide de la cavité du corps est mêlé, à l'état de maturité sexuelle, d'une foule de spermatozoïdes, et j'ai aussi essayé

[1]) *Zur Anat. der Echinen und Spatangen*, dans *Niederl. Archiv, f. Zool.*, t. I, p. 94.

de montrer que très probablement ces spermatozoïdes doivent s'échapper au dehors par la plaque madréporique.

Cette conjecture s'impose avec encore plus de force pour les Astérides. Le liquide renfermé dans la cavité interne ne contient ici jamais ni œufs ni spermatozoïdes. Si ceux-ci quittent la cavité par la plaque madréporique, la chose doit donc se passer d'une autre manière que chez les Echinides, car on sait que de tout le pourtour de la plaque madréporique naît le canal sacciforme. Lorsqu'on a devant soi une glande sexuelle injectée par l'anneau vasculaire anal, l'aspect est entièrement le même que celui d'une glande injectée par son conduit excréteur. Le liquide sanguin pénètre librement dans les follicules de la glande et circule autour des produits sexuels. On est donc conduit à supposer que les vaisseaux sanguins sont les voies par lesquelles les produits sexuels quittent la glande. Mais l'anneau vasculaire anal, duquel naissent les canaux sanguins destinés aux glandes sexuelles, est en connexion avec le canal sacciforme. Le même chemin doit donc être suivi par les produits sexuels. Une fois parvenus dans le canal sacciforme, ils peuvent quitter la cavité du corps à travers la plaque madréporique. Cette conjecture trouve un appui dans le fait que les Astérides, à l'exception de celles où l'on a constaté la présence de fentes sexuelles, ne montrent aucune espèce d'ouverture par laquelle les produits sexuels pourraient sortir de la cavité du corps. Les fibres musculaires qui existent dans les vaisseaux et dans les follicules des glandes seront d'un grand secours pour la progression des produits sexuels, tandis que l'organe glanduleux inclus dans le canal sacciforme, et qui présente également des phénomènes de contraction, n'est sans doute pas dépourvu non plus de toute utilité pour le même but. Malheureusement je n'ai pas été à même d'étudier sous ce rapport le remarquable *Pteraster*. Si cette hypothèse, concernant le mode d'évacuation des produits sexuels, venait à se confirmer, l'affinité entre les Astérides et les Vers, signalée par M. Häckel [1]), se trouverait notablement fortifiée.

Leyde, déc. 1872.

---

[1]) E. Häckel, *Gener. Morphol. der Organismen*, 1866, t. II, p. LXIII.

Explication des figures.

PLANCHE I.

Fig. 1. Epithélium de la peau externe de l'*Asteracanthïon rubens ;* frais. $\frac{650}{1}$.

„ 2. Cellules isolées de la peau externe de l'*Asteracanthion rubens* après le traitement par le bichrom. de pot. à $4^0/_0$. $\frac{600}{1}$.

„ 3. Cellules isolées des couches inférieures de la peau externe du même animal. $\frac{600}{1}$.

„ 4. Faisceau de tissu conjonctif de la peau externe de l'*Asteracanthion rubens.*

„ 5. Branchies cutanées de l'*Asteracanthion rubens.* $\frac{100}{1}$.

„ 6. Pédicellaire de l'*Asteracanthion rubens.* $\frac{120}{1}$.
a. Pièce basilaire. — *b.* Pince.

„ 7. Membrane de tissu conjonctif, fortement plissée, de l'estomac de l'*Astheracanthion rubens.* $\frac{40}{1}$.

„ 8. Couche épithéliale de l'estomac de l'*Asteracanthion rubens.* $\frac{600}{1}$.

„ 9. Eléments cellulaires du caecum. $\frac{700}{1}$.

„ 10. Réticulum dans lequel sont déposés les éléments cellulaires de l'estomac. $\frac{700}{1}$.

Les fig. 9 et 10 sont de l'*A. rubens.*

„ 11. Coupe transversale d'un bras de l'*A. rubens.* Grossissement faible.

„ 12. Coupe transversale demi-schématique d'un bras d'une Etoile de mer.

11—12. *a.* Petites plaques calcaires spondyloïdes.
b. Canal lymphatique radial.
c. Vésicules ambulacraires.
d. Cirres ambulacraires.
e. Tronc nerveux radial.
f. Lame verticale.
g. Forte cloison longitudinale de tissu conjonctif, séparant le canal lymphatique radial du nerf.
h. Feuillets nerveux proprement dits, qui se réfléchissent dans la
k. Couche nerveuse des cirres.

Fig. 13. Eléments nerveux, plongés dans une substance fondamentale finement granuleuse, des feuillets nerveux de *l'A. rubens*, après le traitement par l'acide osmique. $\frac{650}{1}$.

„ 14. Cellules nerveuses isolées. $\frac{650}{1}$.

„ 15. Cellules nerveuses du palpe. $\frac{650}{1}$.

„ 16. Cellules nerveuses de l'œil, après le traitement par l'acide osmique. $\frac{660}{1}$.

„ 17. Cellules nerveuses de l'œil, isolées. $\frac{660}{1}$.

„ 18. Cellules pigmentaires de l'œil. $\frac{650}{1}$.

„ 19. Eléments celluleux situés à l'intérieur des cônes pigmentaires. $\frac{660}{1}$.

PLANCHE II.

„ 20. Dessin schématique du système vasculaire sanguin des Astérides.

a. Anneau sanguin anal.
b. b. Vaisseaux sanguins pour les glandes sexuelles.
c. Plaque madréporique.
d. Canal sacciforme.
e. Canal pierreux.
f. Anneau sanguin oral (médian).
g. Anneau lymphatique.
h. h. Vaisseaux sanguins radiaux (tronc principal).
i. i. Vaisseaux sanguins radiaux (troncs secondaires.)
k. k. Branches transversales, qui unissent les vaisseaux sanguins radiaux aux
l. l. Troncs secondaires latéraux.
m. Anneau sanguin latéral.
n. Branches qui naissent de l'anneau sanguin latéral, percent l'anneau buccal calcaire et se ramifient à la face interne de la peau dorsale des bras.

„ 21. Face interne de la peau dorsale de l'*A. rubens*. $^1/_1$.

a. Bras coupés.
b. b. Les cinq gros faisceaux musculaires radiaux.
c. c. Les membranes par lesquelles le disque buccal calcaire est soudé à la peau du dos.
d. Anneau sanguin anal.
e. e. Rameaux naissant de cet anneau et se rendant aux glandes sexuelles.
f. f. Les deux organes glanduleux qui pénètrent librement dans la cavité du corps.
g. Plaque madréporique.

Fig. 22. Face inférieure d'un *A. rubens.* $\frac{2}{1}$. Les prolongements odontoïdes du disque buccal calcaire ont été cassés et enlevés, pour mieux laisser voir les anneaux vasculaires.

a. Ouverture buccale.
b. Membrane buccale.
c. Anneau sanguin oral (médian).
d. Anneau lamineux.
e. Anneau lymphatique.
f. Anneau sanguin oral (latéral).
g. Tronc radial principal.
h. Troncs radiaux secondaires.
l. Troncs secondaires latéraux.
k. Rameaux transversaux, qui unissent les troncs secondaires radiaux aux troncs secondaires latéraux.

„ 23. Face interne du côté ventral de l'*A. rubens.* $\frac{1}{1}$.

a. Plaques calcaires spondyloïdes.
b. Vésicules ambulacraires.
c. Anneau buccal calcaire.
d. Rameaux vasculaires qui, à travers les très petites ouvertures de l'anneau buccal calcaire, au-dessus des prolongements odontoïdes, pénètrent dans la cavité du corps.
e. Ouverture buccale.
f. Membrane buccale.
g. Petits corps bruns de Tiedemann.

„ 24. *a.*, *b.*, *c.*, *d.*, *e.*, *f.* Eléments cellulaires du liquide sanguin.

„ 25. Les petits corps bruns de Tiedemann; de l'*A. rubens.* $\frac{80}{1}$.

„ 26. Le contenu celluleux de ces corps. $\frac{400}{1}$.

„ 27 et 28. Couche nerveuse des cirres de l'*A. rubens*, après le traitement par l'acide osmique. $\frac{600}{1}$.

„ 29. Cellules isolées de la couche nerveuse de l'*A. rubens.* $\frac{650}{1}$.

Postscriptum.

Ce travail était déjà sous presse lorsque, grâce à la bienveillance de l'auteur, j'eus connaissance de la dernière communication de M. R. Greeff sur l'anatomie des Echinodermes (*Sitzungsberichte der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften in Marburg*, 3te *Mittheilung* No. 11, 1872). Malheureusement il était trop tard pour que je pusse en profiter.

SECONDE COMMUNICATION

SUR LES

POISONS À FLÈCHE AFRICAINS,

PAR

A. W. M. VAN HASSELT.

(Acad. des Scienc. d'Amsterdam, séance du 25 Janvier 1873.)

Au mois d'octobre dernier, j'eus l'honneur de recevoir de M. le Dr. Thomas R. Fraser, professeur à l'université d'Edimbourg, une lettre accompagnant l'envoi d'une Notice préliminaire *On the Kombi Arrow-poison of the Manganja district of Africa,* qu'il avait publiée dans les *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh for* 1862—70, p. 99.

M. Fraser me demandait, de la façon la plus courtoise, si son hypothèse, — que le poison à flèche *Kombi*, décrit par lui en 1870, est identique avec le poison à flèche *de la Guinée*, mentionné sub *a* dans mon Mémoire *Sur les poisons à flèche africains*, publié en mars 1871 [1]), — concordait avec mon propre sentiment. Il déclarait attacher un grand intérêt à cette question, d'autant plus qu'il se proposait de faire paraître, sur ce même poison à flèche, un travail plus étendu.

Après une comparaison soignée des observations de M. Fraser et des miennes, j'eus la satisfaction de pouvoir lui adresser immédiatement une réponse affirmative.

Depuis lors j'ai reçu, grâce à l'obligeance de mon savant correspondant, le nouveau travail annoncé, qui a été publié récemment dans le *Journal of Anatomy and Physiology*, vol VII. Par cette publication, je me vois à même d'éclaircir un doute que j'avais dû laisser subsister au sujet de l'origine *botanique* d'un des principaux poisons à flèche africains, et de confirmer ce que j'avais dit de la nature de l'action *physiologique* du poison à flèche

---

[1]) M. Fraser ne connaissait cè Mémoire que par la traduction française insérée dans les *Archives Néerlandaises*, 1872, p. 161.

de la Guinée. Comme M. Fraser a décrit ce poison quelques mois avant moi, je me servirai dorénavant de la dénomination qu'il lui a appliquée, celle de poison à flèche *Kombé* [1]).

1°. *Origine botanique.*

Dans les conclusions de mon Mémoire précité, j'avais émis (5°) la conjecture:

„Que l'élément essentiel des deux poisons à flèche africains est peut-être fourni par une espèce d'*Echites.*"

M. Fraser, peu de temps avant la publication de mon travail, avait traité la même question avec plus de détails et en meilleure connaissance de cause. Il disposait de tous les matériaux nécessaires, grâce à deux envois: l'un du prof. Christison, appartenant à la collection d'échantillons de poisons à flèche et de parties végétales qui avait été rassemblée par M. Walker, dans l'expédition de feu l'Evêque Mackenzie à *Kombé*, localité située sur la côte ouest de l'Afrique, près de l'équateur; — l'autre du prof. Sharpey, faisant partie des objets recueillis par le Dr. Kirk, consul anglais à Zanzibar, et provenant du district de Manganja, situé dans le sud-est de l'Afrique, au voisinage des Victoria-falls du fleuve Zambèse, où le Dr. Livingstone avait également eu l'occasion de faire connaissance avec les arcs des naturels et avec les flèches chargées du poison en question [2]).

Le Dr. Kirk écrit que la plante mère de ce poison à flèche est une grosse liane ligneuse, qui grimpe le long des arbres les plus élevés dans les bois de Manganja; que la tige atteint un diamètre de plusieurs pouces anglais et offre une écorce rude; que les fleurs sont d'une couleur jaune clair et commencent à se développer au mois d'octobre; que le fruit ne mûrit qu'en juin, et que la partie interne du péricarpe, avec les graines qu'elle contient, est seule séchée et conservée pour l'usage.

---

[1]) Dans son premier Mémoire, M. Fraser avait écrit le nom du poison, aussi bien que celui du lieu de provenance, avec un *i* „*Kombi*"; dans le nouveau travail, l'un et l'autre ont pris la forme „*Kombé*"

[2]) La description des *flèches* empoisonnées en usage dans ce district concorde en grande partie avec celle que j'ai donnée moi-même des flèches des Bosjesmans.

M. Fraser lui-même décrit les fruits qu'il a reçus (*follicles*) [1]) comme ayant une longueur de 9 à 12 pouces anglais, une largeur ou épaisseur maximum d'environ 1 pouce, et un poids de 130 à 330 grains. Ces fruits renferment de 100 à 200 petites graines, pesant chacune environ ½ grain, et pourvues d'un stylet fragile, à appendice chevelu très élégant.

En comparant ces descriptions avec les indications antérieures données par Clapperton et M. Griffon, et citées dans mon Mémoire, on trouvera entre les unes et les autres, quant aux points essentiels, un accord très satisfaisant; il n'y a de divergence un peu notable que pour la longueur attribuée aux follicules, mais celle-ci, de même que dans d'autres fruits, peut facilement être sujette à quelques variations individuelles.

En tenant compte de ces données, ainsi que d'autres encore, et surtout en s'appuyant sur l'examen ultérieur des fleurs communiquées, M. le prof. Oliver, de Kew, a reconnu que la plante mère du poison à flèche Kombé appartient à la famille des *Apocynées*, et il l'a rapportée au genre *Strophanthus* de De Candolle. Quant à la détermination spécifique, il avait d'abord identifié la plante avec le *Str. hispidus* D. C., mais, à la suite d'une nouvelle étude, il a rejeté ce nom, et a maintenant décrit définitivement la plante, dans les *Icones Plantarum*, No. 4, sous le nom nouveau de *Str. Kombé.*

Ma diagnose se trouve donc confirmée dans sa partie essentielle, c'est-à-dire, en ce qu'elle rapportait la plante à l'ordre des *Apocynaceae* d'Endlicher, sous ordre des *Euapocyneae*, tribu des *Echiteae*; mais, au lieu d'appartenir au genre *Echites*, la plante forme une espèce nouvelle d'un autre genre de cette tribu, le genre *Strophanthus;* ce résultat légitime le doute qu'avait déjà émis, au sujet du genre *Echites*, M. C. A. J. A. Oudemans.

2°. *Action physiologique.*

Voici comment je m'étais exprimé à cet égard dans mes Conclusions (n° 6):

„Les expériences de M. Pelikan et les nôtres [2]) paraissent

[1]) Bien que cela ne soit pas mentionné, on peut inférer de la description originale que ces fruits et les autres parties de la plante possédaient les mêmes caractères, soit qu'ils eussent été obtenus de l'Afrique orientale ou de l'Afrique occidentale.

[2]) Je dois rappeler ici que toutes mes expériences à ce sujet ont été faites avec le concours de mon ami le prof. Kooyker.

mettre hors de doute que ces poisons à flèche appartiennent tous les deux aux poisons du *cœur* de l'école toxico-physiologique."

Si dans cet énoncé, de même que dans les Conclusions précédentes, j'ai parlé des *deux* poisons à flèche les plus connus de l'Afrique, je dois maintenant faire remarquer que c'est seulement sur l'origine du poison à flèche *Kombé* Fraser (= mon poison à flèche de la Guinée) que les recherches récentes ont jeté un nouveau jour; quant au poison à flèche *du Cap*, faute de renseignements botaniques, nous en sommes encore réduits à la simple conjecture, — fondée sur l'analogie d'action, — qu'il est identique au précédent [1]).

En ce qui concerne le mode d'action du poison à flèche *Kombé*, les belles recherches de M. Fraser ne laissent plus place au doute. Il a opéré, en effet, non-seulement avec ce poison lui-même, mais aussi et surtout avec un extrait alcoolique retiré des graines du *Strophanthus*, et les expériences entièrement semblables, exécutées avec ces deux matières, n'ont pas porté exclusivement, comme les miennes, sur des grenouilles, mais aussi sur des lapins, des chiens, des chats et des pigeons [2]). Il a pu établir ainsi, d'une façon tout à fait certaine, et indépendante des recherches antérieures, la vérité du résultat provisoire énoncé par M. Pelikan pour le poison à flèche *du Gabon* (très probablement identique avec celui de *Kombé*), savoir, que ce poison, de même que sa plante mère, doit être rangé parmi les *poisons du cœur* de Kölliker, Pelikan et autres. L'extrait dont M. Fraser s'est servi dans ses expériences fut préparé en traitant les graines de *Strophanthus* par

[1]) A propos de ce poison à flèche du Cap, je ne puis m'empêcher de marquer ma surprise de ce que M. Fraser, dans son *second* Mémoire, par conséquent avec connaissance de cause, l'ait passé entièrement sous silence. Il cite mon travail une seule fois, à la page 141, pour dire — pas une lettre de plus — que le poison à flèche *Kombé* „se rencontre également en Guinée." Il ne fait même aucune mention des titres de M. Pelikan à la première découverte (1865) de l'action que le poison à flèche Kombé exerce sur le *cœur*. Cette réserve s'explique d'autant moins que, dans une Note (p. 154), se trouvent rappelées, par contre, quelques expériences *non* publiées, que M. le prof. Sharpey aurait faites sur ce même poison dès l'année 1862. Pourquoi soulever ici de nouveau une question de priorité?

[2]) Chez ces animaux, toutefois, l'action paralysante sur le *cœur* ne peut être constatée, à beaucoup près, avec le même degré d'évidence et de certitude que chez les grenouilles.

de l'alcool fort, soumettant la teinture vert-jaunâtre fournie par ce traitement à une distillation modérée, et évaporant doucement le résidu au bain-marie sous la pompe pneumatique. L'extrait excessivement amer, ainsi obtenu, consistait encore pour moitié en une huile fixe inerte, et montrait au microscope une multitude de petits cristaux aciculaires, qui paraissent constituer le principe actif, auquel M. Fraser propose de donner provisoirement le nomde *strophanthine*.

Avec $\frac{1}{20}$ de grain de cet extrait alcoolique, introduit par diverses voies, il obtenait déjà, rapidement, des effets mortels chez les grenouilles; avec $\frac{1}{10}$ chez les pigeons; avec $\frac{1}{5}$ chez les lapins; etc.

Renvoyant pour plus de détails au Mémoire original, je rapporterai seulement les conclusions que l'auteur tire de ses recherches:

1°. Le *Strophanthus* (= poison à flèche *Kombé*) agit *primitivement* sur le *cœur* [1]), et finit par déterminer la paralysie de cet organe en état de systole ventriculaire.

2°. La *respiration*, chez les animaux à sang froid, persiste encore pendant quelques minutes après l'arrêt total du cœur.

3°. Les *muscles volontaires* du corps sont ensuite atteints à leur tour; ils sont d'abord agités de légères convulsions, avec accroissement de tonicité, mais bientôt eux aussi sont arrêtés dans leur fonctionnement par la paralysie, et alors ils deviennent rapidement roides et montrent une réaction acide. Le trouble de leurs fonctions ne se produit que *consécutivement*, après que l'action sur le cœur est devenue complète. Toutefois, il est *indépendant* de cette dernière, ainsi que de l'action sur le système cérébro-spinal,

[1]) Des cœurs de grenouilles, entièrement séparés du corps et divisés en morceaux, n'ayant donné, immédiatement après l'arrêt produit par le poison, qu'une réaction *négative* à la suite de l'excitation électrique, l'auteur incline à admettre l'action immédiate et *directe* sur le tissu musculaire du cœur, sans intervention des nerfs et ganglions intra-cardiaques. Il est à regretter que, pour résoudre cette question, il n'ait pas répété l'expérience comparative de M. Pelikan, dans laquelle un cœur excisé, mais se contractant encore, et un nerf musculaire bien préparé et isolé étant plongés conjointement dans une dissolution aqueuse d'un poison cardiaque, d'*antiar* par exemple, le premier perdait rapidement la propriété d'être excité par le courant galvanique, tandis que le second la conservait beaucoup plus longtemps. — Comme ma petite provision de poison à flèche *du Cap* était épuisée et que je ne possédais pas de poison *Kombé*, je n'ai pu exécuter moi-même cette expérience de contrôle.

et doit être considéré comme la conséquence du contact *direct* du principe actif avec les fibres musculaires elles-mêmes.

4°. Les mouvements réflexes, qui ont leur origine dans la *moelle allongée* et la *moelle épinière*, sont éteints peu de temps après la paralysie totale du cœur; mais le pouvoir de conduire l'influence *motrice* persiste, tant dans ces centres que dans les grands troncs nerveux, jusqu'après la paralysie complète des fibres musculaires striées.

En comparant les résultats de ces expériences [1]), soit d'une manière générale, soit dans les particularités résumées de 1—4, avec ceux obtenus pour d'autres *poisons* bien connus *du cœur* et *des muscles*, je crois qu'aux quatre conclusions de M. Fraser on pourrait en ajouter une cinquième, savoir:

5°. L'action physio-toxicologique de l'extrait alcoolique du *Strophanthus Kombé* Oliv. offre une analogie frappante avec celle du latex desséché de l'*Antiaris toxicaria* Lesch.; ou, en d'autres termes, la *strophanthine* de Fraser agit, sous le rapport toxicodynamique, de la même manière que l'*antiarine* de Mulder.

Parmi les poisons à flèche différents, ou du moins signalés jusqu'ici sous des noms différents, qu'on trouve en Afrique, il en est encore un dont je veux dire ici quelques mots; c'est celui des Somalis ou Somaulis, peuplade nègre qui habite la partie la plus orientale de l'Afrique, près du golfe d'Aden (empire d'Adsjan). Mon ami, le Dr. Dammann, officier de santé de 1ère classe de notre Marine, a rapporté d'Aden, lors de son dernier voyage, un arc, un carquois et quelques flèches empoisonnées provenant de cette peuplade. Les expériences préliminaires faites par lui et M. le prof. Place, dans le Laboratoire physiologique d'Amsterdam, ont déjà montré que l'indication donnée antérieurement par M. Arnott au sujet de ce poison à flèche africain, savoir, qu'il contiendrait de la *strychnine* (voir ma commu-

[1]) Les procédés nouveaux de la physiologie expérimentale, — tels que la destruction préalable de la moelle épinière, ou l'extinction du mouvement réflexe par la méthyl-strychnine, la section des nerfs vagues, l'isolement du nerf ischiatique, la ligature des muscles des membres, etc. ont été appliqués par M. Fraser avec le plus grand soin et la plus grande habileté.

nication précédente), ne saurait être admise, attendu que le poison ne détermine aucun phénomène tétanique. Peut-être est-il permis de supposer que M. Arnott s'est égaré sur une fausse voie botanique, et qu'il n'a pas essayé l'action du poison, mais a vu ou appris qu'on le préparait au moyen d'une *plante grimpante*, regardée par lui à tort comme une espèce de *strychnos*, parce qu'à cette époque on ignorait encore que d'autres plantes grimpantes (notamment le *strophanthus*) sont également employées, dans cette partie du monde, à la préparation des poisons à flèche. Ce qui donne quelque vraisemblance à cette hypothèse, c'est que le district Manganja, où le poison à flèche Kombé se rencontre aussi, est situé sur la même partie de la côte orientale d'Afrique, quoique plus au sud. Les expériences de MM. Place et Dammann n'ont toutefois *pas* conduit, jusqu'ici, à la découverte de l'identité des poisons à flèche *Somali* et *Kombé* sous le rapport de leur action sur le cœur. Les résultats ultérieurs de ces recherches seront accueillis avec intérêt, car ils pourront contribuer à soulever le voile qui a si longtemps caché la nature des poisons à flèche africains.

Dès à présent se dégage ce fait extrêmement remarquable, que sur au moins deux et peut-être (eu égard aux districts intérieurs du Cap) sur trois points très espacés de ce vaste continent, et en présence de l'infinie variété de la végétation tropicale, des nègres ignorants choisissent, comme par instinct, une seule et *même* plante pour préparer leurs poisons à flèche cardicides. Du reste, le même phénomène étrange s'est produit, avec un caractère encore plus fortement accusé, dans nos possessions des Indes orientales, où le fameux *Antiaris toxicaria* a fourni pendant longtemps, non-seulement à Java et à Célèbes, mais aussi à Bornéo et dans le groupe d'îles de Sumatra, un des ingrédients essentiels des poisons à flèches employés par les indigènes.

AMSTERDAM, *Janvier* 1873.

———

SUR LA SIGNIFICATION

DU

CONGRÈS MÉTÉOROLOGIQUE DE VIENNE

POUR L'AVENIR DE LA MÉTÉOROLOGIE,

PAR

C. H. D. BUYS-BALLOT.

Enfin, le premier pas a été fait; un Congrès de métérologistes s'est réuni à Vienne au mois de septembre dernier. Des comptes-rendus des travaux de cette Assemblée ont déjà été publiés, avec plus ou moins d'extension, dans la plupart des langues et des pays de l'Europe. Il convient qu'un récueil scientifique néerlandais en dise également quelques mots, et c'est pourquoi je veux résumer ici les principales décisions prises par le Congrès, de même que je me propose de revenir de temps en temps sur ce sujet dans les *Archives néerlandaises*, à mesure que nous nous rapprocherons du but poursuivi.

Aussitôt qu'on eut appris que MM. Bruhns, Jelinek et Wild voulaient bien se charger de dresser un programme pour une première conférence, à tenir à Leipzig en août 1872, et qu'il fut connu que notre Nestor, M. le professeur Dove, soutenait ce projet de son approbation, beaucoup de météorologistes s'empressèrent de communiquer leurs idées et leurs vues aux trois savants que je viens de nommer. Moi aussi je tâchai de leur apporter ma part de coopération, soit par lettres, soit par la publication d'une Note intitulée

Suggestions on a uniform system of meteorological observations, et l'année suivante, après la réunion de la Conférence de Leipzig, par une nouvelle Note, *Sequel to the Suggestions*. En prenant la peine de comparer les détails dans lesquels je vais entrer avec les propositions dont on avait donné connaissance par la voie de l'impression, on pourra juger jusqu'à quel point celles-ci ont été adoptées par les membres du Congrès.

Ç'a été une déception pour nous de voir que plusieurs météorologistes éminents manquaient au Congrès de Vienne, et, en particulier, que la France n'y avait envoyé aucun délégué. Les représentants des autres pays de l'Europe, toutefois, s'y rencontrèrent dans les dispositions les plus bienveillantes, et avec le vif désir d'arriver, en sacrifiant chacun quelque chose de leurs vues individuelles, à une entente commune. De l'Amérique même nous était venu le général Myer, *Chief signal officer* à Washington, qui par ses avis contribua beaucoup à donner convenablement satisfaction aux principaux *desiderata* de la Météorologie.

Une grande partie du temps fut consacrée à la discussion des divers instruments propres à fournir des observations exactes, et au sujet desquels chacun apporta le résultat de son expérience personnelle. On s'occupa aussi de la question de savoir comment les observations devaient être communiquées. Naturellement, chacun aura à donner l'ensemble des observations qui sont désirées par la majorité des météorologistes. Tout le monde ne se propose pas les mêmes recherches, et il s'agissait de satisfaire, autant que possible, à tous les vœux légitimes. Il faut qu'on arrive ainsi à fixer un minimum d'informations. Il va sans dire, d'ailleurs, que chacun reste libre dans le choix de ce qu'il croira encore devoir calculer ou faire connaître au-delà du contingent commun.

En ce qui concerne le mode d'expédition des ouvrages et autres documents, il fut décidé conforme à la proposition de M. H. Wild, Directeur de l'Observatoire Physique Central de St. Pétersbourg, que chaque envoi serait accompagné ou précédé d'un billet imprimé, dont une moitié porterait d'un côté le titre de l'ouvrage et de l'autre côté l'adresse de l'expéditeur. De cette manière,

personne n'aura à prendre la peine d'écrire une lettre spéciale pour accuser la réception de l'envoi; il suffira d'arracher la moitié du billet dont il vient d'être question, d'y appliquer son cachet, de la plier et de l'expédier à titre d'imprimé.

Un point plus important, c'est que le Congrès est tombé d'accord pour recommander, dans chaque pays, l'établissement d'un Bureau central. L'Institut météorologique néerlandais adresse ses publications à deux cents correspondants étrangers, et je sais par expérience combien ces envois se font avec moins de frais et parviennent plus sûrement à leur destination, depuis que M. le professeur von Baumhauer, Secrétaire de la Société Hollandaise des Sciences à Harlem, s'est donné la peine de fonder chez nous un pareil Bureau scientifique central. Pourtant, les avantages qui en résultent seraient encore beaucoup plus considérables si, d'abord, toutes les Institutions scientifiques du pays participaient à l'œuvre, et si, surtout, les autres Etats de l'Europe, — car en Amérique la *Smithsonian Institution* a depuis longtemps pris à cœur la centralisation des expéditions scientifiques, — se décidaient à créer chez eux des établissements analogues. Aujourd'hui, en effet, le Bureau néerlandais peut bien envoyer les livres à l'agent qu'il a commissionné pour chaque pays ou pour chaque groupe de pays, mais cet agent est ensuite obligé de suivre la longue voie ordinaire, et de faire beaucoup plus de frais que n'aurait à en supporter un établissement spécial, directement érigé en vue des échanges. Il me semble que les Académies des sciences des divers pays sont les centres naturellement indiqués pour la réception et la distribution des ouvrages scientifiques.

Une autre question importante, agitée dans le Congrès, est celle des unités de poids et mesures qu'il convient d'employer. Beaucoup de membres inclinaient pour le système métrique; néanmoins, en ce qui concerne le baromètre et le thermomètre, l'échelle anglaise et l'échelle de Fahrenheit trouvèrent aussi encore des partisans déclarés. Ce serait déjà un progrès si les lignes de Paris et l'échelle de Réaumur cessaient d'être en usage, et qu'on se restreignît par conséquent préalablement à des échelles de deux espèces diffé-

rentes; du moins, tant qu'on ne peut pas encore se résondre à sacrifier un peu de son amour propre, afin d'économiser des heures de travail et tarir une abondante source d'erreurs. La méthode adoptée en Néerlande supprime bien en grande partie les difficultés pratiques, mais ce n'est pas précisément tendre à l'uniformité, ce grand but du Congrès, que de continuer à se perdre dans la dualité et la pluralité.

Il fut soutenu par un assez grand nombre de membres qu'il n'est pas nécessaire de faire imprimer tout ce qu'on observe, qu'on imprime déjà beaucoup trop, qu'il vaudrait mieux se demander mutuellement des renseignements, d'autant plus que, malgré l'étendue des publications, il n'en reste pas moins impossible d'y faire entrer tout ce qui pourrait être raisonnablement désiré dans quelques cas, par exemple, pour certaines recherches sur le magnétisme terrestre, qui exigent la connaissance des éléments magnétiques pour tous les instants du temps. — Mais, si l'on ne publie pas toutes les observations, il faut pourtant qu'il en existe des copies, et qu'on sache où ces copies sont conservées. C'est là, à mon avis, un point essentiel: être sobre en fait de publication d'observations locales, et donner plutôt quelques certaines de francs pour faire copier une série en détail, qu'en dépenser autant de milliers pour des recueils imprimés, qui n'en restent pas moins incomplets, et dont une grande partie ne sera jamais consultée. Mieux vaudrait, à coup sûr, consacrer cet argent à l'entretien d'observatoires dans les parties lointaines de la surface terrestre.

Telle a été l'opinion du Congrès en général, bien qu'il n'en ait pas encore fait l'objet d'une recommandation formelle, comme je l'eusse souhaité. L'examen ultérieur de cette question, ainsi que d'autres points d'une nature générale, a été confié à un Comité permanent, élu par le Congrès. Ce Comité, composé de MM. Wild, Scott, Mohn, Jelinek, Cantoni, Bruhns et Buys-Ballot, fonctionnera pendant deux années, s'assemblera à Utrecht au mois de Septembre prochain, préparera la réunion du Congrès futur, et en attendant se mettra en correspondance avec les Directeurs des Institutions centrales des divers pays. En réponse

à sa première circulaire, très libéralement répandue, le Comité a déjà recueilli de différents côtés des assurances précieuses de concours. N'est-il pas, en effet, du plus haut intérêt qu'il puisse établir un échange d'idées avec les principaux représentants de la science météorologique dans chaque pays, recevoir d'eux des éclaircissements au sujet des particularités ou des besoins locaux, et apprendre quelles sont, aux yeux de la majorité des observateurs, les mesures les plus utiles? Que tous ceux qui partageraient cette manière de voir, et qui n'auraient pas reçu la circulaire du Comité, veuillent bien m'en faire la demande et ensuite la propager autant que possible. A défaut de lettre, l'envoi d'une simple adresse imprimée suffira pour faire connaître au Comité qu'on désire entrer et rester en relations avec lui. Les ouvrages qu'on voudra bien m'adresser, ouvrages qui seront présentés au Comité réuni, et qu'il conviendrait, à mon avis, de conserver dans une Bibliotèque générale, seront aussi considérés comme la preuve qu'on souhaite être tenu au courant de ce que le Comité fait ou propose.

Ainsi pourra être accompli le projet formulé et chaleureusement développé devant le Congrès par M. Fradesso da Silveira, Conseiller du Roi de Portugal et météorologue éminent, et par M. Plantamour, de Genève, tenu par tous en si haute estime comme astronome, physicien et météorologue. Ce projet tendait à la publication d'un ouvrage universel, dans lequel serait représenté l'état du monde entier au même instant. M. Plantamour cita les Annuaires météorologiques néerlandais comme réalisant en partie cette idée, quoique leur champ s'étende peu au-delà de l'Europe, et que toutes les parties de cette partie du monde n'aient pu y être traitées, à beaucoup près, d'une manière uniforme, vu que l'auteur ne put utiliser les lieux qu'il eût choisis mais qu'il dût prendre ceux desquels on lui envoyât les observations. Il est permis d'espérer que le Comité pourra obtenir un travail analogue, sur une région déterminée, de chacun des Directeurs d'Institut, qui ainsi se partageraient l'étude météorologique de la surface du globe, de la même manière que les astronomes distribuent entre eux l'étude

des différentes parties du ciel ou celle des questions particulières. Ces travaux devraient être exécutés d'après un même plan général, fixé d'avance, afin de pouvoir être comparés l'un avec l'autre et considérés tous ensemble. C'est pour cette espèce de publication qu'une forme commune est une condition de rigueur.

Je signalerai enfin l'importante proposition du général Myer, qui a été adoptée par le Congrès, et qui est même déjà entrée dans la période d'application, grâce à l'activité de son auteur. Il s'agit de réunir des observations faites au même instant de temps absolu, savoir, à 7 h. 35 m. du matin pour l'Amérique, et à 1 h. 4 m. de l'après-midi, temps d'Utrecht, pour l'Europe. C'est là une excellente mesure, qui exercera certainement une influence favorable sur le concours à établir entre tous les observateurs. Sans doute, il n'y a pas à en attendre une utilité pratique immédiate, surtout à cause des grandes lacunes qui existent encore dans le réseau météorologique; mais ce n'en est pas moins le seul moyen qui puisse nous conduire un jour à la connaissance des états simultanés sur toute la surface terrestre, et par conséquent aussi à celle de leur mode de propagation. A ce titre, je vois dans la mesure en question un commencement de réalisation du vœu que j'exprimais en 1850, savoir, que le ton donné par la Néerlande pût trouver de l'écho dans le monde entier [1]).

Le côté pratique, celui des applications dont la science météorologique est susceptible, n'a pas non plus été oublié par le Congrès. Déjà à Leipzig, l'année précédente, une sous-commission, composée de MM. Scott, Neumayer et Buys-Ballot, avait été chargée de faire un rapport sur la question de savoir s'il existait des raisons suffisantes pour attendre, d'après des états connus de

---

[1]) „Car la Météorologie deviendra une science par l'association et par le télégraphe électrique...... La vraie méthode, celle des déviations, est maintenant mise en lumière par des exemples. Elle portera plus de fruits à mesure que l'observation embrassera un terrain plus étendu, etc." (*Uitkomsten der waarnemingen te Utrecht gedaan in* 1849 en 1850.) Principalement la préface du Jaarboek de 1851 et *Pogg. Annalen*, Ergänzungsband IV, p. 559. Aufforderung der Beobachter das Sammeln am vielen Orten zu erleichtern.

l'atmosphère et surtout d'après les hauteurs barométriques observées simultanément en des points différents, l'arrivée prochaine des tempêtes, et si l'on était assez avancé pour porter ces prévisions, par des signaux, à la connaissance du public. La sous-commission s'est acquittée de cette tâche, en s'aidant des nombreuses informations reçues, et son rapport, approuvé par le Congrès de Vienne, verra le jour sous peu. Dans l'entretemps, un appareil télégraphique pour le service de campagne a été imaginé par M. Kromhout, major du genie hollandais, et cet appareil, déjà adopté pour sa destination spéciale, a aussi été approprié à la transmission des signaux relatifs au temps. Il permet de donner 54 signaux différents, qui sont distinctement visibles à de grandes distances, et qui satisferont par consequent mieux que ceux de l'aéroclinoscope, aujourd'hui en usage chez nous.

Le Congrès a apprécié tout particulièrement les recherches de M. le professeur Mohn, à Christiania, de M. Clement Ley, en Angleterre, et du capitaine Hofmeyer, directeur de l'Institut météorologique de Copenhague. Ce dernier présenta de magnifiques cartes, ayant rapport à la formation et á la marche progressive de différentes tempêtes. Chacun s'empresse d'exprimer le voeu que ce beau travail pût être publié.

On a encore reconnu l'opportunité de réunir bientôt une Conférence maritime, qui aura à s'occuper des observations qu'il convient de faire exécuter à bord des navires, et de la méthode à suivre pour déduire de ces observations les routes maritimes les plus rapides et les plus sûres. Le travail préparatoire à la réunion de cette Conférence a été confié à une Commission, dont les membres sont: MM. Scott, Neumayer, Mohn, Mouchez et Buys-Ballot. Il est clair que les observations systématiques qu'on a en vue donneront aussi une puissante impulsion à notre connaissance des phénomènes qui se passent au sein de l'Océan ou au-dessus de sa surface.

SUR

LA CONSTANCE OU LA VARIABILITÉ

DE LA

VALEUR DE COMBINAISON DES ÉLÉMENTS,

PAR

P. J. VAN KERCKHOFF.

La chimie des dernières années s'est enrichie d'un principe nouveau et important, grâce auquel de grands progrès ont été réalisés par rapport aux idées qu'on se forme de la manière dont les éléments sont unis l'un à l'autre dans leurs combinaisons. Les vues théoriques dérivées de ce principe ont en même temps exercé une influence irrécusable sur l'accroissement de nos connaissances en ce qui concerne les faits. Ce principe, qu'on désigne sous le nom de principe de la valence ou de la valeur de combinaison des éléments, pose en règle générale que les atomes des éléments ne sont pas tous équivalents, mais qu'il existe des groupes différents, dont les atomes, bien qu'équivalents entre eux, sont égaux en valeur à deux ou un plus grand nombre d'atomes d'un élément donné, pris pour mesure commune. A l'époque où il n'était pas question d'atomes, mais d'équivalents, on admettait simplement la loi démontrée que les éléments peuvent se remplacer en proportions définies, sans toutefois (pour le rappeler en passant) rester entièrement fidèle aux faits, par exemple en ce qui regarde l'azote. On n'avait pas tenu compte de l'observation que, pour beaucoup d'éléments, les plus petites quantités possible, qui entrent dans les combinaisons ou qui en sortent, ne sont pas dans le rapport de ces équivalents.

Mais, s'il règne aujourd'hui à peu près unanimité au sujet du

principe de la valence en général, il existe pourtant encore des divergences d'opinion en ce qui touche un point spécial. Tandis que quelques-uns admettent que la valence de chaque atome élémentaire est une grandeur constante, aussi invariable que le poids atomique, d'autres sont d'avis que le même atome se présente tantôt avec une valence plus grande, tantôt avec une valence plus petite. En d'autres termes, on se trouve en présence de deux théories opposées, celle de la constance de la valence et celle de sa variabilité.

Comme en beaucoup d'autres circonstances, la lutte des opinions ne peut ici conduire à aucune solution si l'on n'est pas d'accord sur la signification des mots employés. Si par valence on entend, avec quelques chimistes, l'indication du nombre maximum d'atomes d'un certain radical, pris pour unité, que puisse fixer un élément donné, il suit de cette définition même que la valence est invariable pour cet élément; la notion de variabilité se trouve exclue dès l'origine. Mais si l'on demande avec quel nombre de radicaux univalents une matière donnée entre réellement en combinaison, et que, laissant à l'expérience le soin de répondre, on applique le nom de valence au nombre ainsi obtenu, on trouve que celui-ci n'est pas toujours le même. Il en résulte nécessairement que la valence est alors dite variable.

Sans éclaircissements ultérieurs, les deux manières de voir semblent donc, en effet, s'exclure réciproquement. Et pourtant, dans maint cas, l'opposition n'est pas aussi tranchée qu'on serait porté à le croire. Assez souvent la différence gît plutôt dans les termes employés que dans la chose même. Considérons celle-ci de plus près. Il va sans dire que les partisans des deux opinions s'appuient sur les mêmes faits, et leur but est aussi le même, savoir, déduire ces faits comme conséquences nécessaires d'un principe simple.

Voyons donc quelle explication les deux théories donnent d'un même fait, et choisissons pour cela un des nombreux exemples simples qui se présentent d'eux-mêmes. Un atome de carbone forme avec un atome d'oxygène l'oxyde de carbone, avec deux atomes d'oxygène l'anhydride carbonique. Ceux qui regardent la valence comme une grandeur constante nomment l'atome de carbone, pour des raisons très valables, quadrivalent, et c'est ainsi qu'il fonctionne évidem-

ment dans l'acide carbonique; ils le disent d'ailleurs aussi quadrivalent dans l'oxyde de carbone, bien que là il ne soit uni qu'à un seul atome d'oxygène bivalent; mais, ajoutent-ils, dans cette dernière combinaison l'atome de carbone n'est pas saturé, il possède encore deux valences libres.

Ceux qui admettent la variabilité de la valence soutiennent qu'elle se manifeste clairement dans l'exemple en question. Dans l'oxyde de carbone l'atome de carbone est bivalent, parce qu'il n'est uni qu'à un seul atome bivalent d'oxygène. Avec cette valence, toutefois, son pouvoir de combinaison avec l'oxygène n'est pas épuisé; dans d'autres conditions il peut fixer un second atome d'oxygène et fonctionner alors comme quadrivalent. Ce fait, que l'at. C déjà uni à 1 at. O peut en prendre encore un second, et qu'il est par conséquent capable, dans des circonstances déterminées, de jouer le rôle d'élément quadrivalent, ce fait, dis-je, n'est pas nié par les partisans de la valence variable. Mais, selon eux, aussi longtemps que la molécule d'oxyde de carbone persiste sans altération, la valence, dans cette combinaison, n'est que de deux unités.

On peut maintenant se demander si toute la question ne se réduit à une dispute de mots, lorsque l'un dit: l'at. C est toujours quadrivalent, mais, dans certaines substances, deux seulement de ces quatre valences sont utilisées; tandis que l'autre déclare que dans une certaine combinaison l'at. C est bivalent, dans une autre quadrivalent. Cette déclaration, en effet, ne contient-elle pas implicitement l'aveu que le carbone de la première combinaison possède encore deux valences disponibles pour fixer une nouvelle quantité de matière? La différence consiste seulement en ceci, que l'un fait spécialement attention à la valence telle qu'elle apparaît dans la combinaison qui persiste sans altération, tandis que l'autre s'attache de préférence au maximum de valence que, selon lui, l'atome peut manisfester.

Il y a donc, d'après ce qui précède, des cas où les deux manières de voir concernant la valence peuvent être mises d'accord. Mais, dans beaucoup d'autres cas, l'explication qu'elles donnent de la constitution des corps est tout à fait différente de l'une à l'autre. Je n'ai pas l'intention d'entrer ici dans beaucoup de détails au sujet de ces différences; il suffira d'en citer un petit nombre d'exemples.

Afin de sauver le principe de la valence invariable, par exemple pour des éléments univalents tels que Cl, Br, I, etc., on admet souvent que dans les combinaisons de ces éléments, où le nombre des atomes d'oxygène est plus grand que celui des atomes d'hydrogène, ces atomes d'oxygène sont en partie unis entre eux, au lieu d'être rattachés par leur valence entière à l'atome multivalent. Cette opinion trouve peu d'appui dans les faits connus. En effet, les matières où l'existence d'une pareille liaison mutuelle peut être regardée comme à peu près certaine, se distinguent par la facilité avec laquelle elles se décomposent en cédant de l'oxygène (p. e. les peroxydes H^2O^2, BaO^2, etc.). Or, tel n'est pas le cas, par exemple, pour les acides du chlore, qui sont d'autant plus stables qu'ils renferment plus d'atomes d'oxygène. Le mode de décomposition et les produits des combinaisons sulfurées H^2SO^3, $H^2S^2O^6$, $H^2S^3O^6$, $H^2S^4O^6$, $H^2S^5O^6$ pourraient éclaircir la différence de liaison mutuelle. Quelques chimistes admettent, par exemple, que l'acide perchlorique a pour formule de constitution Cl-O-O-O-O-H; mais que penser alors des combinaisons H^3IO^5 et H^5IO^6, pour lesquelles une pareille interprétation n'est pas possible? Si l'on procède avec celles-ci de la même manière, l'iode doit être au moins trivalent dans la première et au moins quinquevalent dans la seconde, à moins qu'on ne rapporte ces substances aux combinaisons dites moléculaires, supposition qui cadrerait mal avec leurs propriétés et avec celles de leurs sels.

Les corps, tels que ceux de l'exemple cité, conduisent donc nécessairement à la conclusion que si, par exemple, I fonctionne comme univalent dans la plupart de ses combinaisons, il se montre avec une valence supérieure dans H^3IO^5 et H^5IO^6.

Lorsqu'on admet l'invariabilité de la valence, et qu'en même temps on suppose l'existence de liaisons mutuelles entre les atomes d'oxygène, il ne reste donc autre chose à faire qu'à poser la valence de l'iode égale à cinq; on dira alors que l'iode est quinquevalent, mais que dans la plupart des combinaisons cet élément possède quatre valences libres.

Il me semble que la question de la valence constante ou variable

ne peut pas être tranchée d'une manière abstraite; dans la discussion de cette question on considère toujours trop exclusivement l'atome spécial dont on veut fixer la valeur de combinaison, en admettant tacitement que sa valence est indépendante de la nature des atomes auxquels il s'unit et des circonstances qui président à cette union.

Je me propose d'attirer l'attention sur quelques-uns de ces points qui, à mon avis, sont entièrement perdus de vue dans la recherche de la valence, ou dont au moins on ne tient pas un compte suffisant.

En premier lieu, je m'occuperai de la nature des atomes qui se trouvent ou vont entrer en combinaison avec un atome déterminé. Déjà en 1865, à l'occasion de quelques remarques sur la confusion alors régnante entre les idées d'affinité et d'atomicité (valence), j'ai montré brièvement que le même atome peut posséder deux valences différentes, suivant qu'il s'unit à des atomes élémentaires différents.

Le fait qu'un même élément, ainsi que l'exprime la loi depuis longtemps connue des proportions multiples, prend des quantités différentes d'un seul et même autre élément, plaide déjà en faveur de la valence variable. Mais nous trouvons surtout une différence dans la valeur de combinaison, en cherchant quel est le maximum de divers radicaux qui est fixé par un même élément. C'est ce qu'éclairciront les exemples suivants: (pag. 183.)

En citant ces exemples, on a supposé que, dans les combinaisons des éléments avec l'hydrogène et l'oxygène, les atomes d'hydrogène sont unis à l'atome multivalent sous la forme d'hydroxyle, et que le surplus des atomes d'oxygène s'y rattachent par leur valence entière. Cette hypothèse a déjà, plus haut, été indiquée en passant, et elle peut être légitimée, je crois, par la considération des acides hydratés et des sels.

Si l'on examine attentivement le tableau ci-dessus, qui pourrait être notablement étendu, on arrive aux conclusions suivantes:

1°. Que la valence des atomes élémentaires dépend bien réellement de la nature des autres matières, radicaux simples ou composés, qui forment des combinaisons avec eux.

Un atome.	avec	avec	avec	avec
Au	I	$(OH)_3$		
N	H_3 Cl_3 $O(OH)$	H_4Cl $(OH)_5$ $O(OH)_3$		
P	H_3 Cl_3	Cl_5 H_4I $O(OH)_3$		
As	H_3 Cl_3	$(C_2H_5)_4Cl$ $O(OH)_3$		
Sb	H_3 Cl_3	Cl_5 $(C_2H_5)_4Cl$ $O(OH)_3$		
Bi	Cl_3 $(C_2H_5)Cl_2$ $O(OH)$	$O_3(OH)$		
S	H_2 Cl_2 K_2	Cl_4 $(C_2H_5)_3I$	$(OH)_6$ $(OH)_4Cl_2$ $(OH)_3Cl_3$	
Se	H_2 Cl_2 K_2	Cl_4 O_2 $O(OH)_2$	$O_2(OH)_2$	
Te	H_2 Cl_2 K_2	Cl_4 O_2	$O_2(OH)_2$	
Cl	H (OH) K	$O(OH)$	$O_2(OH)$	$O_3(OH)$
Br	H K		$O_2(OH)$	$O_3(OH)$
I	H K Cl	Cl_3	$O_2(OH)$	$O_3(OH)$
Pb	Cl_2	O_2		
Fe	Cl_2 $(OH)_2$	S_2 comme $(\overset{\text{VI}}{Fe_2})Cl_6$ ″ $(OH)_6$ ″ O_3	$O_2(OK)_2$	
Mn	Cl_2 $(OH)_2$	Cl_4 $O(OH)_2$ O_2 comme $(\overset{\text{VI}}{Mn_2})O_3$	F_6 $O_2(OH)_2$	comme $(Mn_2).O_6(OH)_2$
Cr	Cl_2 $(OH)_2$	O_2 comme $(Cr_2)O_3$	F_6 O_3 $O_2(OH)_2$	″ $(Cr_2).\ O_6(OH)^2$
Mo	Cl_2	Cl_4	F_6	

Comme exemples propres à mettre cette proposition en évidence, je citerai l'azote, dont l'atome ne prend pas plus de 3 atomes de H ou de Cl, mais par contre 5 atomes de OH; le phosphore et l'antimoine, qui ne peuvent fixer que 3 atomes de H, tandis qu'ils en fixent 5 de Cl; l'or, qui ne s'unit qu'à 1 atome de I, mais à 3 atomes de OH.

Nulle part le fait n'est aussi accusé que dans le groupe du soufre. Le maximum d'atomes d'hydrogène avec lequel un atome de ces éléments se combine n'est que de deux. Pour le chlore il s'élève à quatre, et pour l'hydroxyle il va jusqu'à six. Mais la différence se laisse aussi constater chez les halogènes. Tandis que ceux-ci fonctionnent comme univalents par rapport à l'hydrogène et aux métaux, les mêmes atomes sont tri-, quinque- et même septemvalents lorsque l'oxygène et l'hydroxyle ensemble, ou aussi l'oxygène seul, forment les autres principes constituants.

2°. Les éléments montrent généralement leur valence la plus faible vis à vis de l'hydrogène. Avec le chlore, lors même que l'atome en question fournit une combinaison correspondante, il y en a ordinairement encore une autre, dans laquelle la valence s'élève plus haut. La valence la plus forte se rencontre dans les composés qui contiennent, soit de l'oxygène seul, soit de l'oxygène déjà uni à de l'hydrogène, à un métal, ou à un radical acide. Dans quelques cas, la valence est aussi très élevée par rapport au fluor.

3°. Lorsqu'à un atome élémentaire s'unissent à la fois plusieurs radicaux différents, simples ou composés, sa valeur de combinaison est plus élevée que lorsque tous les radicaux associés sont homogènes.

Au nombre des observations les plus simples et les plus ordinaires de la science est à coup sûr celle-ci, qu'il existe une grande différence dans la facilité avec laquelle des radicaux différents, de la même valence, sont admis dans une molécule déjà formée ou y remplacent d'autres principes constituants. Pour mettre hors de doute l'influence prépondérante qu'exerce sur ce phénomène la nature des éléments, qui dans le groupe en question se trouvent combinés à l'atome multivalent, il suffit de rappeler que, dans une molécule qui renferme déjà un radical dit acide, l'hydrogène encore existant est remplacé plus facilement par un radical positif que par un

négatif; et réciproquement. Je crois superflu de citer des exemples à l'appui de cette observation.

Avec le fait rappelé se trouve maintenant aussi en connexion la valence supérieure qu'on remarque souvent, comme il a été dit plus haut, dans le cas où les radicaux fixés par un atome multivalent ne sont pas homogènes, mais hétérogènes. L'azote, par exemple, ne peut s'unir à plus de trois atomes d'hydrogène ou de chlore, chacun séparément; or, si à l'état d'ammoniaque il est incapable de fixer encore deux atomes d'hydrogène, n'y a-t-il pas lieu d'admettre que cela tient précisément à ce qu'il est déjà uni à cet élément positif, tandis que rien ne l'empêche de s'approprier deux atomes univalents lorsqu'un de ceux-ci, le chlore par exemple, présente un caractère opposé? Chez les acides et les hydrates d'acides on rencontre de nombreux exemples d'une pareille action; entre 1 atome d'oxygène bivalent et 2 atomes d'hydroxyle univalent, on trouve, malgré la parité de leur valeur de combinaison, une différence dans l'aptitude à se combiner avec un atome multivalent; on connaît beaucoup d'acides dans lesquels on n'a pas réussi à remplacer 1 atome d'O constituant par 2 groupes OH; tels sont, entre autres: H_5IO_6, H_3PO_4, $HSbO_2$, CO_2, etc.

4°. Dans beaucoup de cas on remarque que la valence d'un élément est plus faible par rapport à un élément qui diffère de lui par sa nature et ses propriétés, que par rapport à un autre ayant avec lui une analogie pus grande.

5°. Quand une molécule peut donner naissance à deux autres (toutes deux saturées) par simple dédoublement, celui-ci s'effectue assez souvent. C'est ce qu'on observe surtout chez les combinaisons hydroxylées supérieures, qui se décomposent facilement en eau et en une combinaison dans laquelle les atomes d'oxygène sont liés par leur valence entière à l'atome multivalent.

Si le tableau donné ci-dessus, qui ne renferme que dix-sept éléments et n'indique que quelques-uns des radicaux avec lesquels on les a obtenus combinés, est étendu à tous les autres éléments, on reconnaît que la plupart des atomes élémentaires possèdent une valence qui dépend de la nature des radicaux simples ou com-

posés. Le nombre des éléments dont les atomes ont une valeur de combinaison constante, est relativement petit.

Pour l'hydrogène, il n'y a absolument aucun motif d'admettre qu'il se présente jamais avec une valence autre que l'unité, et c'est là précisément la raison qui fait adopter de préférence cet élément comme mesure commune de la valence. Si l'on s'abstient de groupements forcés, la valence de l'oxygène est également une grandeur constante. A part ces deux éléments, il n'y a plus que les métaux alcalins, qui fonctionnent toujours comme univalents, le bore, qui est toujours trivalent, et le silicium, qui est quadrivalent; quant à l'argent, toute incertitude n'est pas encore dissipée. Le carbone, enfin, ne se montre que très exceptionnellement à l'état d'atome bivalent.

L'existence des combinaisons chimiques est liée à une limite de température, au-dessus de laquelle les combinaisons se défont, mais qui peut être très variable pour des matières différentes. Est-il maintenant permis, sans tenir compte de cette température, de parler de la valence comme d'une grandeur absolue et constante? N'est-il pas probable que la valence dépend du degré de chaleur, et que par conséquent un atome donné peut modifier sa valeur de combinaison vis-à-vis d'autres atomes lorsque la température s'élève ou s'abaisse?

La réponse à cette question doit être cherchée dans l'expérience.

Portons notre attention, en premier lieu, sur les combinaisons d'un élément avec des quantités différentes d'un autre élément. De ces combinaisons très nombreuses, nous n'avons pas besoin de citer beaucoup d'exemples; les suivants pourront suffire:

$TlBr_3$	—	$TlBr$	Mn_2Cl_6	—	$MnCl_2$
$TlCl_3$	—	$TlCl$	Tl_2O_3	—	Tl_2O
$PtCl_4$	—	$PtCl_2$	PbO_2	—	PbO
$AuCl_3$	—	$AuCl$	CuO	—	Cu_2O
PCl_5	—	PCl_3	Co_2O_3	—	CoO

Tous les corps notés dans la première colonne, et qui, n'importe de quelle manière ils aient été produits, sont stables à la température ordinaire, se transforment par la chaleur en combinaisons

de la seconde colonne. Or, dans celles-ci, les atomes des éléments multivalents sont unis à un nombre moindre des autres atomes que dans les corps de la première colonne. Les nouvelles matières ainsi engendrées sont stables aussi à la température ordinaire; elles subsistent jusqu'à ce qu'il se produise des conditions dans lesquelles, reprenant ce qui avait été perdu, elles récupèrent leur composition primitive. Dans tous ces exemples, nous voyons la valence s'abaisser à une température plus élevée.

Sans vouloir affirmer maintenant que par l'accroissement de la chaleur la valence doive s'abaisser toujours et chez tous les éléments, on peut pourtant établir, sans crainte, que dans beaucoup de cas la valence dépend de la température et baisse quand celle-ci monte.

Il y a toutefois encore d'autres circonstances qui exercent sur la valeur de combinaison une influence plus ou moins importante. Je citerai, entre autres, les quantités relatives des corps qui peuvent s'unir pour former un corps plus composé. Les cas connus, où deux mêmes matières sont susceptibles de fournir des combinaisons différentes, suivant les quantités qui entrent en contact, sont en nombre si immense, que je dois me borner à en rapporter quelques-uns, à titre d'exemple:

PCl_3	—	PCl_5	$SnCl_2$	—	$SnCl_4$
$SbCl_3$	—	$SbCl_5$	ICl	—	ICl_3
$FeCl_2$	—	Fe_2Cl_6	P_2O_3	—	P_2O_5
$TeCl_2$	—	$TeCl_4$	CO	—	CO_2
Hg_2Cl_2	—	$HgCl_2$	$Sn(OH)_2$	—	$Sn(OH)_4$

Il serait inexact de considérer exclusivement l'influence d'une seule des circonstances, telle que la température, les quantités relatives, etc. Leur variation simultanée peut favoriser ou contrarier le changement de la valence. Nous en trouvons un exemple frappant dans la détermination de la densité de vapeur de PCl_5, faite récemment par M. Würtz, où l'on voit la dissociation de cette matière (c'est-à-dire, dans le cas actuel, l'abaissement de la valence du phosphore), qui commence déjà à une basse température, être empêchée par l'excès d'un des produits de la décomposition, savoir PCl_3.

De ce qui précède, je crois pouvoir conclure que la valence des atomes est dépendante:

1°. de la nature des atomes auxquels ils sont unis;
2°. de la température;
3°. des quantités relatives.

Je n'examinerai pas en ce moment s'il y a encore d'autres circonstances capables d'influer sur la valence. De différentes actions, toutefois, je crois pouvoir inférer qu'il existe, par exemple, une certaine relation entre la valence et l'énergie chimique potentielle. C'est ainsi que les trois éléments Cl, Br et I, qui ne se combinent avec l'hydrogène qu'en une seule proportion, savoir, atome à atome, peuvent, comme on sait, fixer assez d'oxygène ou d'hydroxyle pour que leurs atomes doivent être considérés comme quinquevalents ou même d'une valence encore plus haute. Mettons en regard de ce fait le travail chimique dont ces mêmes éléments sont capables en présence de l'hydrogène et de l'oxygène. D'après les expériences de M. Thomsen, on a:

	Cl.	Br.	I.
(R, H, Aq)	39315 Cal.	28376 Cal.	13171 Cal.
(R_2, O_5, Aq)	— 20477 „	— 57589 „	+ 18717 „

Les derniers de ces nombres peuvent être regardés (attendu que les dissolutions de M. Thomsen contenaient 200 molécules d'eau) comme s'appliquant à des combinaisons atomiques,

$$2\,R\,(OH)_5 = R_2\,O_5 + 5\,H_2O$$ dans un excès d'eau [1]).

On voit que dans ce cas le travail chimique est très grand pour la valence la plus faible, et au contraire très petit pour la valence la plus haute, et même négatif pour le Cl et le Br.

Une observation qui reste jusqu'ici inexpliquée, c'est que la valence des éléments, lorsqu'elle s'élève on s'abaisse, procède toujours par sauts de deux unités. On ne saurait, en effet, considérer comme une explication ce que M. Frankland dit à ce sujet. Les exceptions à la règle dont il s'agit sont si peu nombreuses, qu'on est conduit à rechercher si ces anomalies ne seraient pas purement apparentes. Parmi ces exceptions, auxquelles appartiennent aussi Hg Cl et Hg Br, fixons notre attention sur l'oxyde d'azote,

[1]) *Ber. Ch. Ges.*, 1873, p. 429.

à titre d'exemple. Si, d'après la densité de vapeur, la molécule de ce corps doit être représentée par NO, on doit y regarder ou bien l'azote comme bivalent, ou bien l'oxygène comme uni- ou trivalent. Mais on peut se demander si le groupe NO doit réellement être considéré comme une molécule, et s'il ne conviendrait pas de comparer ce corps, tel que nous le connaissons, aux atomes libres, qui apparaissent lorsqu'une température très élevée agit sur des molécules à atomes homogènes ou hétérogènes. Le degré de chaleur auquel cela a lieu varie considérablement avec la nature des substances; pour le peroxyde d'azote N_2O_4, entre autres, on sait avec certitude qu'il commence déjà à basse température à se scinder en atomes NO_2. Quelque chose d'analogue arrive peut-être pour l'oxyde d'azote, dont la température de décomposition pourrait être située très bas. S'il en est ainsi, ce groupe atomique doit se distinguer par une grande facilité à contracter des combinaisons, de même que, par exemple, l'hydrogène, le chlore et autres éléments possèdent à l'état naissant, c'est-à-dire comme atomes, une plus grande énergie chimique qu'à l'état de molécules. On observe effectivement cette propriété dans l'oxyde d'azote, ainsi qu'il résulte de son action sur l'oxygène, le chlore, les acides et les sels de protoxyde de fer. Il n'y a pas à dissimuler, toutefois, qu'on peut opposer à cette manière de voir des raisons très fortes, et en premier lieu la circonstance que l'oxyde d'azote est un gaz permanent.

En traitant de la variabilité de la valence des atomes élémentaires, on ne doit pas négliger de tenir encore compte d'un autre point.

On admet assez généralement que, dans une combinaison d'un atome multivalent avec des atomes univalents de la même espèce, tous ces atomes univalents sont liés de la même manière, c'est-à-dire avec une force égale; de sorte que, dans CH_4 par exemple, aucun des atomes d'hydrogène ne se distinguerait des autres par rapport au carbone.

Ce principe semble en effet, à raison de sa simplicité, être le plus probable, et on peut donc bien l'admettre aussi longtemps qu'il n'y a pas de faits qui le contredisent. Toutefois, il convient de préciser la signification qui doit y être attachée. Si, dans

l'exemple cité, on désigne les atomes d'hydrogène successivement par *a*, *b*, *c* et *d*, le principe en question doit être entendu de cette façon, que, lors de la décomposition de la matière, il n'existe aucune raison pour que, par exemple, *a* quitte plutôt que *b*, ou *b* plutôt que *c* ou *d*, ou réciproquement, la combinaison avec le carbone. En supposant donc que, par exemple, deux atomes H soient retirés de la combinaison (peu importe que le reste conserve ou non une existence indépendante), nous admettons qu'il faudra toujours la même dépense de force, quels que soient les atomes, *a* et *b*, ou *b* et *c*, ou *c* et *d*, ou *a* et *d*, ou *a* et *c*, ou *b* et *d*, qu'on fait sortir. Mais de là il ne suit nullement que cette force, nécessaire pour éliminer deux des quatre atomes H, soit la même que celle qui est exigée pour enlever les deux atomes restants. Il est au contraire probable que la force avec laquelle les deux derniers atomes univalents restent unis à l'atome multivalent, a une valeur différente (plus grande? ou plus petite?) de celle qui suffit pour dégager les deux premiers.

Le formène CH_4 est cité ici comme seul exemple, mais on pourrait ajouter un grand nombre de matières qui pourraient également servir à éclaircir ce qui vient d'être dit.

Il n'arrive pas toujours que la force avec laquelle les atomes d'un élément s'unissent à un autre décroisse avec le nombre de ces atomes, comme cela est le cas pour PCl_3 et PCl_5, As_2S_3 et As_2S_5, etc.; parfois un atome multivalent, qui est déjà combiné à un ou plusieurs atomes d'une autre nature, en prend un nombre plus grand avec plus de facilité qu'il ne s'était attaché les premiers; c'est ainsi, par exemple, que SnO, $SnCl_2$, FeO, FeH_2O_2 se transforment plus facilement en SnO_2, $SnCl_2O$, Fe_2O_3 et $Fe_2H_4O_5$, qu'ils ne prennent eux-mêmes naissance par la réaction des éléments. Il est à présumer que la cause de cette différence gît dans la difficulté avec laquelle la molécule primitive se sépare en atomes. Pour le carbone, du moins, la probabilité de cette explication a été établie par M. Thomsen.

Lorsque les atomes univalents attachés à l'atome multivalent sont hétérogènes entre eux, on n'est sans doute pas disposé à ad-

mettre que deux atomes de nature différente soient retenus avec la même force. Quant à savoir lequel de ces atomes hétérogènes se détachera le premier, cela dépend naturellement en premier lieu de l'inégalité du travail qu'ils sont capables d'accomplir avec l'atome multivalent, et ensuite pour une bonne part aussi, dans les actions chimiques ordinaires, de la nature de la matière qui agit sur la combinaison.

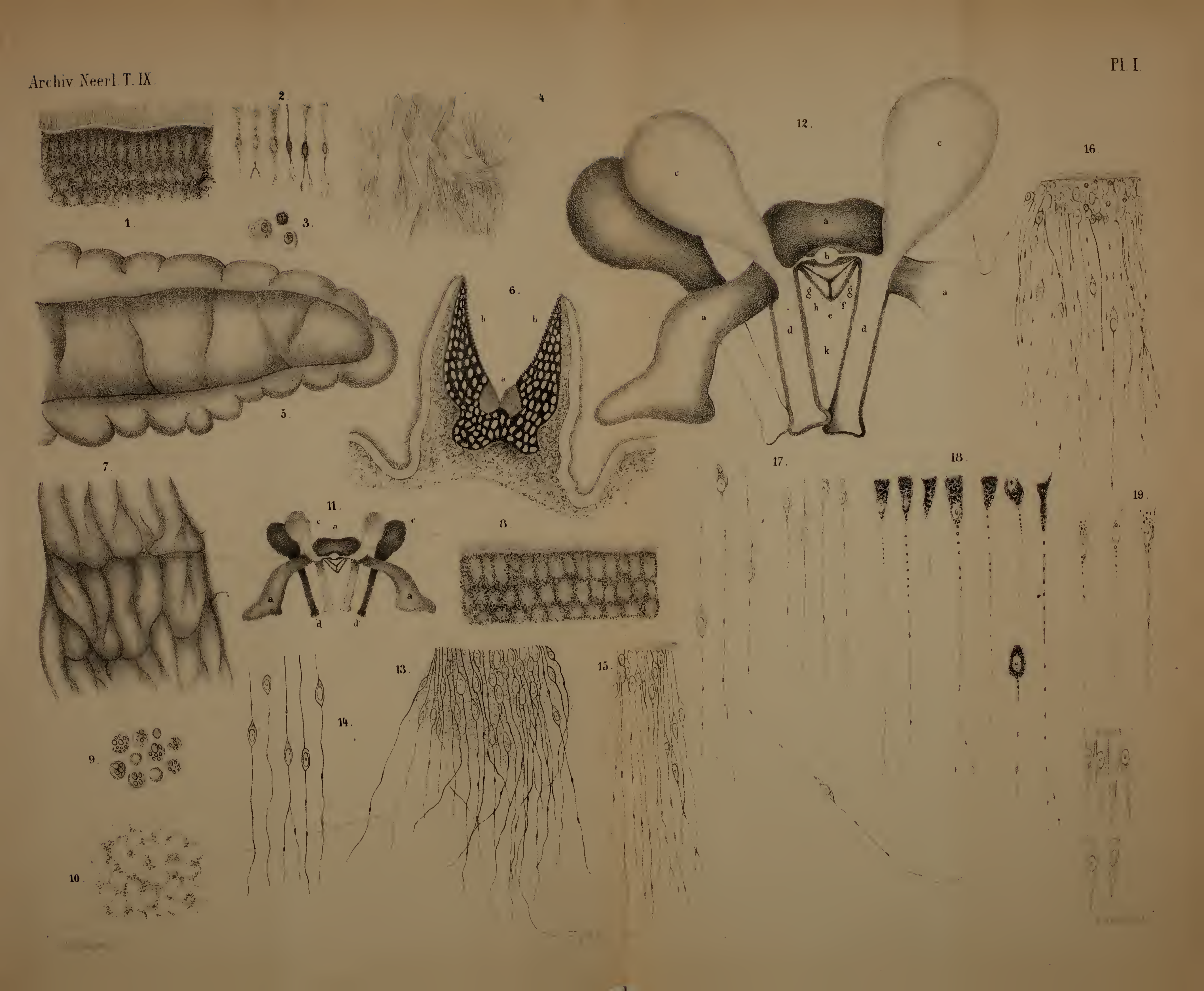
Dans les considérations qui viennent d'être développées, j'ai admis la grandeur relative des molécules telle qu'elle est adoptée aujourd'hui pour les molécules chimiques, sans me préoccuper de la question de savoir si, pour les matières liquides et solides, cette grandeur est la même que celle qu'on croirait devoir déduire des propriétés physiques.

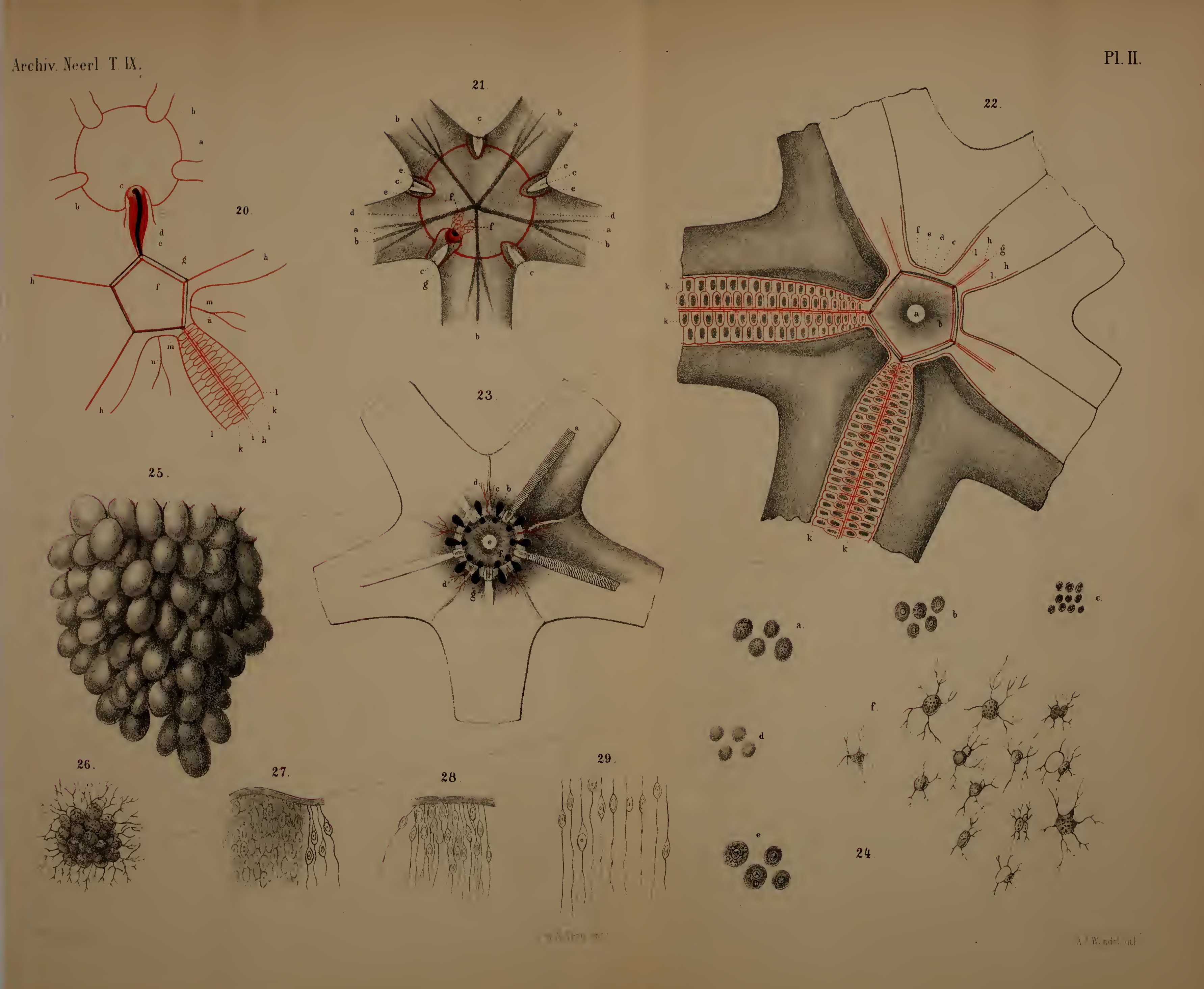
Lorsqu'on regarde la loi d'Avogrado comme le seul principe conducteur dans l'établissement de la grandeur moléculaire, il est impossible de déterminer celle-ci pour les matières solides et liquides auxquelles on ne parvient pas, même sous une pression diminuée, à faire prendre l'état de vapeur. Pourtant, la notion de molécules, au sens purement chimique, est également applicable à ces matières; car pour elles, aussi bien que pour les gaz, la conception des molécules, comme quantités relatives les plus petites qui entrent en jeu dans les actions chimiques, est parfaitement légitime, et même nécessaire. Mais si, en ce qui concerne les gaz, il existe des raisons suffisantes pour regarder la molécule chimique comme identique à la molécule physique, un pareil critère nous fait jusqu'ici défaut pour les corps solides et liquides. C'est là le motif qui doit nous engager à admettre provisoirement, comme possible ou comme probable, une différence entre les molécules chimiques et les molécules physiques.

Quelques savants n'attribueraient-ils pas aujourd'hui, dans la détermination des poids moléculaires chimiques, une importance un peu trop forte à des propriétés physiques, par exemple, à la volatilité plus ou moins grande? Sans diminuer en rien l'intérêt de cette étude comparative des données physiques et chimiques, on peut bien soutenir que, là où il s'agit de molécules chimiques,

les réactions purement chimiques des matières doivent entrer surtout en ligne de compte et prendre le pas sur les propriétés physiques.

Bien que beaucoup de corps, classés autrefois parmi les combinaisons dites moléculaires, puissent être ramenés aux combinaisons atomiques, ainsi qu'il a été montré récemment par différents chimistes, il reste pourtant encore un très grand nombre de composés supérieurs, qui se distinguent trop des combinaisons atomiques ordinaires pour pouvoir être rangés dans cette catégorie. Comment ces composés sont-ils constitués? Il est clair que la cause, en vertu de laquelle des molécules s'unissent ainsi en groupes supérieurs, doit se trouver, ou bien dans le travail que un ou plusieurs des atomes élémentaires d'une des molécules sont susceptibles de fournir avec un ou plusieurs atomes de l'autre, ou bien dans le travail qui peut s'effectuer entre une molécule (considérée comme un tout) et une ou plusieurs autres molécules, envisagées de même. Dans l'un des cas comme dans l'autre, il est à croire que cette valeur de combinaison résiduelle des molécules ne peut être exprimée dans la même unité que celle des combinaisons atomiques, et qu'on a affaire ici à des valences de molécules, ayant un rapport défini, mais encore totalement inconnu, avec les valences des atomes. A l'égard de ces matières, nous nous trouvons à peu près dans la même position que les formules dualistiques de Berzélius occupaient par rapport aux combinaisons atomiques; c'est-à-dire, que nous sommes encore hors d'état de préciser ce qui constitue le lien entre les molécules. Lorsque nous écrivons pour le chlorure double de platine et de potassium $2\,KCl$, $PtCl_4$, cette formule indique tout aussi peu le mode de liaison, que la formule dualistique K_2O, SO_3 ne faisait connaître comment les constituants K_2O et SO_3 étaient unis en un seul tout.


1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
13.
14.
15.
16.
17.
18.
19.


20
21
22
23
24
25.
26.
27.
28.
29.

ARCHIVES NÉERLANDAISES

DES

Sciences exactes et naturelles.

SUR LA NATURE DES ÉLÉMENTS.

(CORPS NON-DÉCOMPOSÉS)

DE LA CHIMIE,

PAR

J. A. GROSHANS.

(*Pour faire suite au Mémoire inséré au T. VIII*, 1873, *pag.* 41).

---

245. Il résulte des observations que j'ai présentées antérieurement (*Arch. Néerl.*, T. VI., 1871, pag. 1), qu'on peut, dans un très-grand nombre de cas, calculer les points d'ébullition des corps par une formule très-simple; ces points d'ébullition calculés concordent en général avec les points d'ébullition observés, dans les limites des erreurs des expériences.

246. Je commencerai par appliquer la formule à des corps composés uniquement de carbone, d'hydrogène et d'oxygène.

Voici cette formule:

$$s = -273 + 27{,}8 \frac{a}{n} \sqrt{x}$$

s est le point d'ébullition, a le poids atomique; n est le nombre total des atomes de C, de H et de O; pour un corps $C_p H_q O_r$ n est donc $= p + q + r$.

247. Quant à x (qu'il faut concevoir comme un nombre entier), je n'ai pas réussi à trouver de loi générale, d'après laquelle on pût déterminer sa valeur pour tout corps donné; mais je me

propose de faire connaître, dans ce qui va suivre, beaucoup de cas particuliers, où cette valeur peut être déterminée.

248. La valeur $\sqrt{x}$ répond (sous une forme plus simple) à la quantité que j'avais appelée précédemment *déviation*, terme que je n'aurai plus occasion d'employer; la formule suivante exprime la relation entre les deux quantités, la nouvelle et l'ancienne:

$$\sqrt{x} = \text{dév} \sqrt{5}$$

Quant à la constante 27,8, il résulte de la formule

$$s = -273 + 27{,}8\frac{a}{n}\sqrt{x},$$

qu'on a pour tout corps quelconque:

$$27{,}8 = \frac{n\,(273 + s)}{a\sqrt{x}};$$

et la valeur précise est donnée par les propriétés de l'eau:

$$27{,}8 = \frac{3\,(273 + 100)}{18\sqrt{5}};$$

100 est le point d'ébullition de l'eau, 18 son poids atomique, et 3 le nombre de ses atomes H et O; la valeur $\sqrt{5}$ se déduit des propriétés de certaines séries homologues, que j'appellerai *séries régulières*; ce sont celles que j'avais mentionnées précédemment sous le nom de *séries complètes*.

249. Des séries pareilles sont entre autres les éthers $C_n\,H_{2n}\,O_2$ et les carbures d'hydrogène $C_n\,H_{2n-6}$ (benzol et homologues); une de leurs propriétés consiste en ce que x est $= 1$ pour le premier corps de la série; $= 2$ pour le second; $= 3$ pour le troisième, et ainsi de suite; les valeurs consécutives de x sont donc les nombres 1, 2, 3, 4 etc., c'est-à-dire la série des nombres naturels, que j'ai déjà appelés les nombres *m*.

250. Par conséquent, pour les séries régulières, x est $= m$.

251. J'ai cru que, devant employer dans ce Mémoire un grand nombre de formules chimiques, il serait utile de faire usage d'une abréviation, qui semble se présenter d'elle-même comme une simplification commode des formules empiriques; elle consiste à ne pas écrire les lettres C, H et O, mais à les sous-entendre; ainsi

la formule $C_p H_q O_r$ devient simplement *p. q. r*, et de même:

$C_n H_{2n} O_2$ devient *n*. 2*n*. 2,

$C_n H_{(2n-8)} O_2$ „ *n* (2*n* — 8) 2,

et ainsi de suite; je pourrai indiquer l'éther $C_4 H_{10} O$ et le benzol $C_6 H_6$ par 4. 10. 1 et 6. 6, et le même principe pourra servir pour indiquer les différents isomères.

252. Par exemple, l'éther 4. 8. 2 pourra être:

(3. 5. 1) (1. 3) 1 = propionate de méthyle

(2. 3. 1) (2. 5) 1 = acétate d'éthyle

(1. 1. 1) (3. 7) 1 = formiate de propyle.

TABLEAU XXIV.

Ethers *n*. 2*n*. 2; série régulière; $x = m$.

Formules.	*a*	*n*	*m*	Points d'ébullition. calc.	obs.	Observateurs.	Désignation des isomères.
C H O							
1 2 2	46	5	1	—17,2			
2 4 2	60	8	2	21,8	32,7	Kopp.	(1 1 1) (1 3) 1
3 6 2	74	11	3	51,0	52,9	Pierre.	(1 1 1) (2 5) 1
4 8 2	88	14	4	76,6	77,0	Linnemann.	(2 3 1) (2 5) 1
5 10 2	102	17	5	100,0	100,0	Puchot.	(3 5 1) (2 5) 1
6 12 2	116	20	6	122,0	122,4	Linnemann.	(3 5 1) (3 7) 1
7 14 2	130	23	7	142,7	143,4	Linnemann.	(4 7 1) (3 7) 1
8 16 2	144	26	8	162,5	162,0	Fehling.	(6 11 1) (2 5) 1
9 18 2	158	29	9	181,5			
10 20 2	172	32	10	199,6	200,0	Schorlemmer.	(2 3 1) (8 17) 1
11 22 2	186	35	11	217,0	217,0	Cahours.	(9 17 1) (2 5) 1
12 24 2	200	38	12	233,9			
13 26 2	214	41	13	250,3	250,1	Zincke.	(5 9 1) (8 17) 1
14 28 2	228	44	14	266,1	269,5	Zincke.	(6 11 1) (8 17) 1
15 30 2	242	47	15				
16 32 2	256	50	16	296,7	298,0	Zincke.	(8 15 1) (8 17) 1

13*

253. Pour les éthers des acides gras et de l'allyle, 3. 5, qui ont la formule $n(2n-2)2$, on a les mêmes valeurs de $x = m$ que pour les éthers $n.\ 2\,n.\ 2$; quand on désigne les deux espèces par une formule générale, $p.\ q.\ r$, on a pour les corps de chaque série:

$$x = m = \frac{q}{2}.$$

	C H O	a	n	m	Points d'ébullition. calc.	obs.
Acétate d'allyle	5. 8.2	100	15	4	97,7	98
Butyrate "	7.12.2	128	21	6	142,1	140
Valérianate "	8.14.2	142	24	7	162,3	162

Les points d'ébullition ont été observés par MM. Cahours et Hoffmann.

254. Le corps premier de la série des éthers $n.\ 2\,n.\ 2$ serait (s'il pouvait exister) CH_2O_2; ce serait un gaz, se liquéfiant à —17°,2, isomère avec l'acide formique.

255. En admettant, pour les séries régulières, que x correspond aux nombres m, qui désignent les rangs des corps dans leurs séries homologues respectives, on arrive nécessairement à l'idée de corps premiers de pareilles séries; un corps premier peut être considéré comme une espèce de noyau, d'où les corps suivants dérivent par l'accroissement CH_2, $2\,CH_2$, $3\,CH_2$ etc.

256. On ne saurait donc négliger pour le calcul de x ($= m$) les corps premiers; mais il ne me semble pas nécessaire d'ailleurs de se préoccuper de la question de savoir s'ils pourraient avoir une existence réelle; peut-être qu'on réussira par la suite à en découvrir quelques-uns.

257. Quant aux points d'ébullition observés, j'ai cru devoir choisir, parmi des données quelquefois un peu discordantes, les observations qui s'accordaient le mieux avec les résultats du calcul.

TABLEAU XXV.

Ethers $n(2n+2)1$; série régulière; $x=m$.

Formules.	a	n	m	Points d'ébullition. calc.	Points d'ébullition. obs.	Observateurs.	Désignation des isomères.
C H O							
2 1	18	3	1	—106,0			
1 4 1	32	6	2	—63,0			
2 6 1	46	9	3	—26,9	—23,6	Regnault.	$(1\ 3)_2\ 1$
3 8 1	60	12	4	5,0	11,0	Williamson.	(1 3) (2 5) 1
4 10 1	74	15	5	33,6	34,9	H. Kopp.	$(2\ 5)_2\ 1$
5 12 1	88	18	6	59,9	54,5	Markownikoff.	C $(1\ 3)_4\ 1$
6 14 1	102	21	7	84,4	85,5	Chancel.	$(3\ 7)_2\ 1$
7 16 1	116	24	8	107,2	112,0	Williamson.	(2 5) (5 11) 1
8 18 1	130	27	9	128,5	127,5	Chancel.	(3 7) (5 11) 1
9 20 1	144	30	10	149,0			
10 22 1	158	33	11	168,5	170,0	Gaultier.	$(5\ 11)_2\ 1$

258. Le corps premier de cette série serait un gaz isomère avec l'eau.

TABLEAU XXVI.

Ethers $n(2n-8)2$; série régulière; $x=m$.

Formules.	a	n	m	Points d'ébullition. calc.	Points d'ébullition. obs.	Observateurs.	Désignation des isomères.
C H O							
4 — 2	80	6	1	97,7			
5 2 2	94	9	2	137,7			
6 4 2	108	12	3	160,4			
7 6 2	122	15	4	179,2			
8 8 2	136	18	5	196,7	198,5	Dumas et Peligot	(7 5 1) (1 3) 1
9 10 2	150	21	6	213,4	212,9	Kopp.	(7 5 1) (2 5) 1
10 12 2	164	24	7	229,6	229,5	Linnemann.	(7 5 1) (3 7) 1
11 14 2	178	27	8	245,4	247,0	Erlenmeyer.	(9 9 1) (2 5) 1
12 16 2	192	30	9	260,8	260,7	Kopp.	(7 5 1) (5 11) 1
13 18 2	206	33	10	275,8			
14 20 2	220	36	11	290,5			
15 22 2	234	39	12	304,9	305,5	Zincke.	(7 5 1) (8 17) 1

259. Comme les combinaisons allyliques ont en général les mêmes valeurs de x que les combinaisons éthyliques correspondantes, le benzoate d'allyle, 10. 10. 2, a la racine de 6, comme le benzoate d'éthyle, 9. 10. 2; son point d'ébullition se calcule à 228°,5; les observations donnent: 228° Cahours et Hoffmann; 226° Berthelot et Luca; 242° Zinin.

260. Il est probable que les éthers $n\,(2n - 8)\,3$ ont respectivement les mêmes racines (de x) que les éthers $n\,(2n - 8)2$; ils ne sont pas connus aussi bien; j'en citerai un seul:

Salicylate de méthyle, 8. 8. 3; $a = 152$, $n = 19$; $x = m = 5$; point d'ébullition calculé 222°,3 observé 223°,3 H. Kopp.

TABLEAU XXVII.

Benzol et corps homologues $n\,(2n - 6)$; série régulière; $x = m$.

Noms.	Formules.	a	n	m	Points d'ébullition. calc.	obs.	Observateurs.
	C H						
	3	36	3	1	60,7		
	4 2	50	6	2	54,7		
Pentol	5 4	64	9	3	69,8	60	Carius.
Benzol	6 6	78	12	4	88,5	85	L. Henry.
Toluol	7 8	92	15	5	108,4	108	Noad.
Xylol	8 10	106	18	6	128,1	129	Cahours.
Cumol	9 12	120	21	7	147,5	152	Gerhardt.
Cymol	10 14	134	24	8	166,2	171	Noad.
Laurol	11 16	148	27	9	184,2	188	Fittig.

261. L'observation de M. L. Henry se rapporte au dipropargyle, nouveau corps découvert par lui, isomère avec le benzol.

262. Le corps premier de cette série, C_3, aurait (s'il pouvait exister) un intérêt particulier; ce serait une modification allotropique du carbone, sous la forme d'un liquide bouillant à 60°,7.

263. Il y a beaucoup de séries régulières parmi les corps $p.\,q.\,r$; les corps du tableau suivant, qui ont tous 10 atomes de H,

peuvent être considérés comme des corps cinquièmes de leurs séries respectives; on voit que ces corps ont la même racine de x ($=5$) que l'eau.

TABLEAU XXVIII.

Corps ayant tous la racine de 5.

Noms.	Formules.	a	n	Points d'ébullition. calc.	Points d'ébullition. obs.	Observateurs.
	C H O					
Gaz éthyle..........	4 10	58	14	—15,4	14,0	Frankland.
Ether...............	4 10 1	74	15	33,7	34,9	Kopp.
Oxyde éthyl-allylique .	5 10 1	86	16	61,1	64,0	Hoffmann.
Propionate d'allyle...	5 10 2	102	17	100,0	100,0	Puchot.
Oxyde d'allyle.......	6 10 1	98	17	85,4	86,5	Berthelot.
Oxalate d'éthyle.....	6 10 4	146	20	180,8	180,0	Mitscherlich.
Oxalate d'allyle......	8 10 4	170	22	207,4	206,5	Cahours.

264. Les corps premiers sont souvent inconnus; je ferai voir plus loin que le chlore peut être considéré comme le corps premier de la série régulière $n.2n.Cl_2$; et de même, l'acide hydrochlorique, HCl, comme le corps premier de la série $n(2n+1)$ Cl.

265. J'ai fait observer (*Archives* 1871) que les densités des vapeurs de tous les corps, mesurées à $0^m,76$ et aux points d'ébullition, s et s', peuvent être représentées par la formule:

$$\frac{d}{d'} = \frac{a}{a'} \times \frac{273+s'}{273+s}$$

En admettant, en outre, que pour les séries régulières les densités des vapeurs (dans les mêmes circonstances) sont proportionnelles aux sommes des atomes et inversement proportionnelles aux racines carrées des nombres m, soit

$$\frac{d}{d'} = \frac{n}{n'} \times \frac{\sqrt{m'}}{\sqrt{m}},$$

on trouve, en réunissant les deux formules,

$$s = -273 + 27,8\frac{a}{n}\sqrt{m},$$

dans laquelle la constante est:

$$27,8 = \frac{n\,(273 + s)}{a\sqrt{m}}.$$

266. Je crois utile de rappeler que j'ai démontré (*Archives* 1873), qu'en général les densités des corps liquides, mesurées aux points d'ébullition, sont proportionnelles aux sommes des atomes et inversement proportionnelles aux nombres m. En appelant ces densités Ds et Ds', on a:

$$\frac{Ds}{Ds'} = \frac{n}{n'} \times \frac{m'}{m}.$$

C'est seulement pour les corps des séries régulières que les nombres x correspondent avec les nombres m; de cette correspondance résulte la propriété remarquable que, pour deux corps pris dans des séries régulières différentes, on a entre les densités liquides Ds et Ds', d'une part, et les densités des vapeurs, d et d', d'autre part, quand m est $= m'$, la relation:

$$\frac{Ds}{Ds'} = \frac{d}{d'} = \frac{n}{n'};$$

d'où, en supposant Ds et d exprimées dans la même unité:

$$\frac{Ds}{d} = \text{Constante.}$$

Des volumes réduits égaux.

267. Une conséquence de cette propriété est le phénomène dont je me suis déjà occupé en 1871 (*Arch.* pag. 29) et que j'ai appelé celui des *volumes réduits égaux*; il consiste en ce que les volumes liquides de deux corps, pris dans des séries régulières différentes et ayant la même racine (de m), sont, aux points d'ébullition, exactement proportionnels à leurs températures respectives d'ébullition augmentées de 273:

$$\frac{vs}{vs'} = \frac{273 + s}{273 + s'}.$$

Quand donc on multiplie chacun de ces volumes par la fraction $\frac{273}{273 + s}$, les produits sont égaux pour les deux corps.

TABLEAU XXIX.

Volumes réduits de quelques corps avec 10 atomes d'hydrogène.

Noms.	Formules.	Points d'ébull. calc.	*vs*		*vr*
	C H O				
Ether.	4 10 1	33,6	106,0	Kopp.	94,4
Sulfure d'éthyle . . .	4 10 S	76,7	119,1	Pierre.	93,0
Ether propionique. .	5 10 2	100,0	129,3	Kopp.	94,6
"			127,0	Kopp.	92,9
Chlorure de butylène	4 8 Cl_2	121,7	133,4	Kolbe.	92,3
"			129,3	Kopp.	89,4
Ether carbonique. .	5 10 3	134,5	140,1	Kopp.	93,9
Sulfite d'oxyde d'éthyle.	4 10 3 S	178,5	152,9	Pierre.	92,4
Ether oxalique. . . .	6 10 4	180,8	165,5	Kopp.	99,8

268. En général, tous les corps ayant la racine de 5 et 10 atomes d'hydrogène ont un volume réduit = 94 environ ; pour les produits de substitution, il faut compléter le nombre 10 en ajoutant, aux atomes d'hydrogène, les atomes de Cl, Br, I, qui se trouvent dans la formule.

269. Toutes les séries régulières ont, respectivement pour des valeurs égales de m, les mêmes volumes réduits ; les différences qu'on observe quelquefois d'une série à l'autre doivent être attribuées à l'action de forces moléculaires encore inconnues.

270. Pour deux corps, pris dans la même série ou dans des séries différentes, les volumes réduits sont dans le rapport suivant :

$$\frac{vr}{vr'} = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m'}}; \text{ d'où } \frac{vr}{\sqrt{m}} = \text{Const. (environ 41).}$$

271. Le tableau suivant contient les volumes réduits de 5 corps de la série des éthers $n.2n.2$.

TABLEAU XXX.

Volumes réduits de quelques corps de la série des éthers, *n*. 2*n*. 2.

Formules.	*vs*	Points d'ébull. calc.	*vr*	*m*	$\frac{vr}{\sqrt{m}}$
C H O					
2 4 2	62,0	21,8	57,4	2	40,6
3 6 2	83,2	51,0	70,1	3	40,5
	85,3		71.8		41,5
4 8 2	107,8	76,6	84,2	4	42,1
	108,3		84,6		42,3
5 10 2	127,0	100,0	92,9	5	41,5
	129,3		94,6		42,3
6 12 2	151,0	122,0	104,3	6	42,6
	152,3		105,3		43,0

272. En construisant le tableau XXX j'ai choisi, parmi les nombreuses données rassemblées par M. H. Kopp, les valeurs de *vs* les plus élevées et les plus faibles.

273. En prenant de deux corps, par ex. des éthers 4. 10. 1 et 5. 10. 2, qui ont 10 atomes d'hydrogène et la même racine ($\sqrt{5}$), des volumes liquides égaux (un litre par exemple), aux points respectifs d'ébullition, 33°,7 et 100°, on obtiendra, en les vaporisant, de chaque corps un volume égal de vapeur (environ 240 litres) à 0^m,76 et aux températures de 33°,7 et de 100°.

274. Supposons les deux litres de liquide renfermés chacun dans un espace clos à parois expansibles, de manière que la pression extérieure soit toujours égale à la pression intérieure; si alors on chauffe les deux liquides, de manière que les tensions (dans chaque espace) aient toujours la même valeur *p*, les deux volumes de liquide resteront égaux l'un à l'autre; et de même il y aura toujours égalité entre les deux volumes de vapeur engendrés par ces liquides.

275. Lorsque, pour deux corps appartenant à la même série régulière ou à deux séries différentes, les nombres *m* diffèrent,

les volumes de vapeur, engendrés par la vaporisation d'un litre de chaque corps pris à l'état liquide et aux points respectifs d'ébullition, seront dans le rapport suivant:

$$\frac{li}{li'} = \frac{\sqrt{m'}}{\sqrt{m}} \text{ d'où: } li\sqrt{m} = \text{constante.}$$

276. Les volumes réduits égaux constituent un caractère extérieur des corps, auquel on peut reconnaître la valeur de la racine (de m); ce qui a de l'importance quand un des deux corps comparés contient, outre C, H et O, encore d'autres éléments, par ex. le chlore.

277. Lorsqu'un corps $p. q. r$ et son produit de substitution $p(q-s)r\ Cl^s$ ont le même volume réduit, on peut conclure que les deux corps ont la même racine (de m ou en général de x), et la formule

$$n = \frac{27{,}8\, a\sqrt{m}}{273 + s},$$

étant appliquée au produit de substitution, fait connaître l'équivalent d'ébullition du chlore.

278. Si je reviens ici et avec plus de détails sur les volumes réduits, c'est que ce phénomène présentait l'occasion d'appeler l'attention sur la parfaite analogie qui existe entre la loi d'Avogadro et la *théorie des équivalents d'ébullition* (nom sous lequel je désignerai provisoirement la manière de voir que j'ai essayé d'esquisser dans ces pages); en effet, l'une et l'autre, la loi et la théorie nouvelle, s'occupent de volumes de vapeur égaux, produits par des portions données (en poids) d'espèces chimiques.

279. Ainsi, par rapport aux corps du tableau XXVIII, en considérant par exemple:

	a	n
4. 10. 1	74	15
5. 10. 2	102	17
6. 10. 4	146	20

la loi d'Avogadro prend de ces corps respectivement 74, 102 et 146 grammes (poids atomiques), et après les avoir réduits en vapeur, à $0^m,76$ et à $0°$, elle constate que les volumes de

vapeur produits sont égaux (environ 22,4 litres); la théorie nouvelle, de son côté, prend de ces mêmes corps 15, 17 et 20 grammes (nombres $n = p + q + r$), et après les avoir réduits en vapeur, à $0^m,76$ et aux points respectifs d'ébullition, elle constate de même que les volumes de vapeur, produits dans ces circonstances, sont égaux (cette fois à 5,1 litres environ).

280. On voit facilement (à l'aide d'un petit calcul), que le nombre des litres produits (aux points d'ébullition) par n grammes d'un corps donné (n étant la somme des équivalents d'ébullition du corps) est exprimé par la formule :

$$li = \frac{22,4 \times 27,8}{273} \sqrt{x} = 2,28 \sqrt{x}$$

Des alcools $n(2n + 2)1$, des radicaux alcooliques et des aldéhydes.

281. Je passe maintenant à des séries homologues qui ne sont pas régulières et dans lesquelles, par conséquent, x n'est pas $= m$. Dans de pareilles séries, on peut toutefois encore constater pour x des régularités d'une autre espèce.

282. Ainsi, par rapport à la série des alcools $n(2n + 2)1$, on a pour le premier corps de la série, le méthyle 1.4.1, $x = 5$; pour le second, 2.6.1, $x = 6$; pour le troisième, $x = 7$, et ainsi de suite.

TABLEAU XXXI.

Alcools $n(2n + 2)1$.

Noms.	Formules.	a	n	x	Points d'ébullition. calc.	obs.	Observateurs.
Alcool......	C H O						
méthylique.....	1 4 1	32	6	5	58°,6	65	
éthylique........	2 6 1	46	9	6	75,2	78	
propylique.....	3 8 1	60	12	7	94,8	96	Chancel.
butylique......	4 10 1	74	15	8	115,0	115	Lieben.
amylique........	5 12 1	88	18	9	134,8	134	Rieckher.
caprylique......	6 14 1	102	21	10	154,2	151	Faget.
heptylique.....	7 16 1	116	24	11	172,8		
octylique......	8 18 1	130	27	12	190,7	191	Zincke

283. On distingue, comme l'on sait, plusieurs espèces d'alcools de la même formule $n\,(2n + 2)\,1$, tels que alcools normaux, alcools primaires, alcools secondaires, etc.

Ainsi M M. Lieben et Rossi énumèrent (*Jahresbericht* 1870, pag. 495) cinq espèces d'alcool amylique 5. 12. 1, bouillant respectivement à 137°; 119° à 132°; 120° à 123°; 104° à 108°; 98°,5 à 102°.

En supposant que les points d'ébullition répondent à des valeurs différentes de x, on trouve pour points d'ébullition calculés: $\sqrt{9}$ 134°,8; $\sqrt{8}$ 111°,4; $\sqrt{7}$ 86°,6.

284. En général, les alcools isomères bouillent à des températures moins élevées que les alcools normaux, qui font le sujet du tableau XXXI.

285. Je crois qu'on peut admettre que les autres alcools (différents des alcools normaux) forment des séries homologues, dont les termes correspondants diffèrent de une à deux unités dans les valeurs de x; pour les corps dont les points d'ébullition ne correspondent pas avec une valeur entière de x, il y a peut-être lieu de croire qu'ils ne constituent pas une substance homogène, mais qu'ils sont en réalité un mélange de plusieurs corps isomères, bouillant à des températures différentes.

286. Quant aux radicaux alcooliques $n\,(2n + 2)$ (et les corps isomères qui ont la même formule), on peut distinguer facilement deux séries distinctes, dont l'une paraît être une série régulière, tandis que pour l'autre série les valeurs de x diffèrent respectivement d'une unité (en plus).

TABLEAU XXXII.

Radicaux alcooliques $n\,(2n + 2)$; série régulière; $x = m$.

Formules.	a	n	m	Points d'ébullition. calc.	obs.	Observateurs.
C H						
4 10	58	14	5	—15,4	—14,0	Faraday.
5 12	72	17	6	+15,4	9,5	Low pour C (1. 3)[4]
6 14	86	20	7	43,3	45,0	Goriainow.
7 16	100	23	8	68,9		
8 18	114	26	9	92,7		

TABLEAU XXXIII.

Radicaux alcooliques $n(2n+2)$; $x=m+1$.

Formules.	a	n	x	Points d'ébullition calc.	observés. Wurtz.	observés. Pelouze et Cahours.
C H						
5 12	72	17	7	38,5		30
6 14	86	20	8	65,1	62	68
7 16	100	23	9	89,6	88	93
8 18	114	26	10	112,5	106	117
9 20	128	29	11	134,0	132	137
10 22	142	32	12	154,4	158	160
11 24	156	35	13	173,8		181
12 26	170	38	14	192,4	202	199

287. Quant aux aldéhydes et aux acétones, $n.2n.1$, je me contenterai d'en mentionner un petit nombre dans le tableau suivant, qui pourra être complété plus tard; je suppose que les corps qui appartiennent à cette formule empirique forment plusieurs séries distinctes.

TABLEAU XXXIV.

Aldéhydes et acétones; $n.2n.1$

Noms.	Formules.	a	n	x	Points d'ébullition. calc.	Points d'ébullition. obs.	Observateurs.
Aldéhyde:							
éthylique....	2 4 1	44	7	3	29,7	22,0	Pierre.
propylique...	3 6 1	58	10	4	49,5	48,8	Linnemann.
butylique ...	4 8 1	72	13	5	71,3	70,5	Guckelberger.
amylique . ..	5 10 1	86	16	6	93,1	92,5	Puchot.

288. L'aldéhyde propylique, 3.6.1, bouillant à 49° (calculé et observé), est isomère avec l'acétone, bouillant, comme l'on sait, à 56°; l'expérience seule pourra apprendre la cause de l'anomalie relative à l'acétone, et décider si la différence de 7 degrés est inhérente à ce corps, ou bien si elle tient à un défaut de pureté.

Cette observation doit naturellement être étendue à un grand nombre d'autres corps, qui montrent des différences analogues entre leurs points d'ébullition calculé et observé.

Des produits de substitution par le Chlore, le Brome et l'Iode.

289. Un cas particulier, d'une application très-générale, est que x a la même valeur pour les produits de substitution (par Cl, Br et I) que pour les corps originaux; il est seulement nécessaire de prendre chaque atome de chlore $= 4$, de brome $= 9$ et d'iode $= 14$. Pour un corps

$$C^p\,H^q\,O^r\,Cl^s\,Br^t\,I^u,$$

on a donc:

$$n = p + q + r + 4s + 9t + 14u.$$

Le premier tableau suivant contient (entre autres) un grand nombre de produits chlorés, qui donnent en général, parmi les produits de substitution, des concordances plus précises.

290. Dans ce tableau se trouvent, avec beaucoup de produits de substitution véritable, quelques autres corps, qui sont représentés comme des produits de substitution, quoiqu'ils n'en aient proprement que l'apparence, étant isomères avec ces produits; c'est ainsi que le point d'ébullition observé pour $C_7\,H_4\,Cl_4$ (représenté comme un produit de substitution du toluol $C_7\,H_8$) appartient au corps appelé en allemand (langue qui ne répugne pas aux mots un peu longs) chlorbenzoesäure-trichlorid.

291. Il me semble nécessaire d'admettre, au moins provisoirement, que tous les corps isomères, ou de la même formule empirique, dont les points d'ébullition observés ne diffèrent entre eux que d'un petit nombre de degrés, doivent être considérés comme ayant le même point d'ébullition, calculé d'après la même valeur de x. Quand les valeurs de x diffèrent pour deux pareils corps, la différence entre les points d'ébullition observés est en général

assez grande pour qu'on s'aperçoive facilement de la différence entre les deux valeurs de x; supposons qu'un corps bouille à 200°, avec la racine de 5; alors des isomères, qui auraient respectivement les racines de 4 et de 6, bouilliraient à 150°,1 et à 245°,2.

292. J'ai écrit dans les formules empiriques du tableau, sous les chiffres des atomes de H, les nombres des atomes des corps halogènes substituants, Cl, Br, I.

TABLEAU XXXV.

Produits de substitution par Cl, Br et I de corps *p. q. r.*

Formules.	a	n	x	Points d'ébullition. calc.	obs.	Observateurs.
C H O						
7 8 Toluol.	92	15	5	108,4	108	Noad.
7 7 Cl	126,5	18	5	163,9	164	Limpricht.
7 6 Cl_2	161	21	5	203,6	206	Wicke.
7 5 Cl_3	195,5	24	5	233,4	237	Limpricht.
7 4 Cl_4	230	27	5	256,4	255	Limpricht.
7 6 Br_2	250	31	5	228,4	236	Wroblevsky.
7 6 Cl I	252,5	31	5	233,4	240	Wroblevsky.
8 10 Xylol	106	18	6	128,1	129	Cahours.
8 9 Cl	140,5	21	6	182,6	183,5	Vollrath.
8 8 Cl_2	175	24	6	223,6	222	A. Kekulé.
8 9 Br	185	26	6	211,6	212	Wahlforss.

Formules.	*a*	*n*	*x*	Points d'ébullition. calc.	obs.	Observateurs.
C H O						
9 12	120	21	7	147,5	152	Gerhardt.
Cumol						
9 11	154,5	24	7	200,5	205	Fittig et Hoogewerff.
Cl						
9 10	189	27	7	241,9	243,5	Fittig et Hoogewerff.
Cl_2						
10 14	134	24	8	166,2	171	Noad.
Cymol						
10 13	168,5	27	8	217,1	214	Kekulé et Fleischer.
Cl						
4 10	58	14	5	—15,4	—14	Faraday.
Gaz éthyle-butane						
4 9	92,5	17	5	65,2	66	Pelouze.
Cl						
4 8	127	20	5	121,8	122,3	H. Kopp.
Cl_2						
4 10 1	74	15	5	33,6	34,9	H. Kopp.
Ether						
4 9 1	108,5	18	5	101,7	97,5	Abeljanz.
Cl						
4 8 1	143	21	5	150,3	140 à 147	Lieben.
Cl_2						
4 4 1	281	33	5	256,4	250	Paterno et Pisati.
Cl_6						
5 10 2	102	17	5	100,0	100	Puchot.
Ether propionique						
5 9 2	136,5	20	5	151,3	150	Wurtz.
Cl						
5 8 2	171	23	5	189,3	194,5	L. Henry.
Cl_2						

Formules.	a	n	x	Points d'ébullition. calc.	Points d'ébullition. obs.	Observateurs.
C H O 8 8 2 Acétate de phényle	136	18	5	196,7	198,5	Tableau XXVI.
8 7 2 Cl	170,5	21	5	231,7	230 à 235	Prévost.
9 10 2 Ether benzoïque	150	21	6	213,4	212,9	H. Kopp.
9 9 2 Cl	184,5	24	6	250,5	245	Limpricht et Uslar.
5 8 2 Acétate d'allyle	100	15	4	97,7	98	Cahours et Hoffmann.
5 7 2 Br	179	23	4	159,7	163,5	L. Henry.
3 6 1 Acétone = aldéhyde propylique	58	10	4	49,5	48,8	Tableau XXXIV.
3 5 1 Cl	92,5	13	4	122,6	119	Linnemann (épichlorhydrine).
3 5 1 Br	137	18	4	150,2	140 à 145	Riche.
3 4 1 Cl Br	171,5	21	4	181,1	176 à 188	Theegarten.
6 6 1 Phénol (acide carbolique)	94	13	5	176,5	180	Calvert.
6 5 1 Cl	128,5	16	5	226,3	218	Kekulé (*Lehrbuch*).
6 5 1 Br	173	21	5	239,1	235,5	Hubner et Brenken.

Formules.	a	n	x	Points d'ébullition. calc.	obs.	Observateurs.
C H O						
10 8 Naphthaline	128	18	6	211,0	212	Dumas.
10 7 Cl	162,5	21	6	254,0	251	Faust.
10 6 Cl_2	197	24	6	286,0	281,5	Faust.
2 6 1 Ether méthylique	46	9	3	—26,9	—23,6	Regnault.
2 4 1 Cl_2	115	15	3	96,2	105	Regnault.
1 4 Méthane	16	5	2	—147		
1 3 Cl Chlorure de méthyle	50,5	8	2	—24,9	—23,7	Regnault.
1 2 Cl_2	85	11	2	30,8	30,5	Regnault.
1 1 Cl_3 Chloroforme	119,5	14	2	62,6	63,5	Pierre.
1 — Cl_4	154	17	2	80,6	78,1	Pierre.
1 3 Br Bromure de méthyle	95	13	2	14,3	13	Pierre.
1 1 Br_3 Bromoforme	253	29	2	147,1	145	Borodine.
1 3 I Iodure de méthyle	142	18	2	37,2	43,8	Pierre.

Formules.	a	n	x	Points d'ébullition. calc.	obs.	Observateurs.
C H O 5 12 Carbure d'hydrogène	72	17	6	15,4	9,5	Llow.
5 10 Cl_2	141	23	6	144,5	141 à 147	Guthrie.
4 8 1 Aldéhyde butylique	72	13	5	71,3	70,5	Guckelberger.
4 7 1 Cl	106,5	16	5	140,8	141	Chancel.
4 7 Cl	90,5	15	5	102,1	100	Chancel.

Séries régulières chlorées.

293. Quand le chlore forme des produits de substitution, successivement avec tous les corps d'une série régulière, $p. q. r$, il en résulte une nouvelle série régulière chlorée, parce que la valeur de x est la même pour chaque corps de la série originale et pour son produit de substitution. Etant donnée une série régulière $n(2n+2)$, il pourra en dériver par substitution des séries régulières $n(2n+1)\,Cl$ et $n.\,2n.\,Cl_2$; la premiére est connue comme celle des chlorures de méthyle, d'éthyle, de propyle, etc; la seconde comme celle des chlorures de méthylène, d'éthylène, de propylène, etc.

TABLEAU XXXVI.

$n(2n+1)\,Cl$; série régulière; $x = m$.

Formules.	a	n	m	Points d'ébullition. calc.	obs.	Observateurs.
C H Cl						
1 Cl	36,5	5	1	—70,1		
1 3 Cl	50,5	8	2	—24,9	—24,8	Regnault.
2 5 Cl	64,5	11	3	9,4	11	Pierre.
3 7 Cl	78,5	14	4	38,8	36—38	Linnemann.
4 9 Cl	92,5	17	5	65,2	66	Pelouze.
5 11 Cl	106,5	20	6	89,6	90	Wurtz.

294. Le corps 5. 11. Cl a été découvert par Wurtz, qui l'appelle chlorhydrate d'amylène; il est isomère avec le chlorure d'amyle qui bout à 101°; je ne crois pas encore le temps arrivé de tenter l'explication de pareilles anomalies dans les points d'ébullition observés.

TABLEAU XXXVII.

$n. 2n. Cl_2$; série régulière; $x = m$.

Formules.			a	n	m	Points d'ébullition. calc.	obs.	Observateurs.
C	H	Cl						
		Cl^2	71	8	1	—26,2	—33,6	Regnault.
1	2	Cl^2	85	11	2	30,8	30,5	Regnault.
2	4	Cl^2	99	14	3	67,9	64	Regnault.
3	6	Cl^2	113	17	4	96,6	94—99	Schorlemmer.
4	8	Cl^2	127	20	5	121,8	122,3	H. Kopp.
5	10	Cl^2	141	23	6	144,5	141-147	Guthrie.

295. Les volumes réduits des séries $n(2n + 1)$ Cl et $n. 2n. Cl_2$ sont à peu près égaux à ceux de la série $n. 2n. 2$; le tableau XXIX contient le volume réduit du chlorure de butylène, $4. 8. Cl_2$.

Des acides $n. 2n. 2$, des anhydrides $n(2n—2)3$ et des éthers $n.(2n—2). 4$.

TABLEAU XXXVIII.

Acides $n. 2n. 2$.

Noms.	Formules.			a	n	x	Points d'ébullition. calc.	obs.	Observateurs.
Acide:	C	H	O						
Formique....	1	2	2	46	5	2	88,7	98,5	Liebig.
Acétique.....	2	4	2	60	8	3	88,2	116,9	H. Kopp.
						4	144,0		
Propionique ..	3	6	2	74	11	5	145,2	141,6	H. Kopp.
Butylique... .	4	8	2	88	14	6	155,1	155,5	Puchot.
Valérianique. .	5	10	2	102	17	7	168,3	174	Delffs.
Capronique...	6	12	2	116	20	9	210,3	205	Lieben.
Heptylique...	7	14	2	130	23	10	223,9	223,5	Franchimont.
Octylique....	8	16	2	144	26	11	237,7	233	Zincke.
Nonylique....	9	18	2	158	29	12	251,7	260	Cahours.

296. La série des acides $n.2n.2$ montre plusieurs anomalies; la valeur de x change subitement de 7 à 9, sans valeur intermèdiaire 8; la même chose a lieu en passant de 1. 2. 2, acide formique ($x = 2$), à 3. 6. 2, acide propionique ($x = 5$); l'acide intermédiaire 2. 4. 2, acide acétique, devrait donc avoir $x = 3$ ou $= 4$; or ni l'un ni l'autre n'est le cas; avec $s = 116°,9$ x se calcule à 3,50.

297. Le point d'ébullition de l'acide acétique est donc anormal, ce qui n'a pas lieu de surprendre, quand on songe à la densité anormale de sa vapeur; la formule $s = -273 + 27,8$ etc. étant basée sur la loi d'Avogadro, on n'en saurait attendre des résultats exacts dans les cas où cette loi semble en défaut.

298. Cependant il est remarquable que la même anomalie, quant à x, se retrouve chez l'anhydride de l'acide acétique, 4. 6. 3; ce corps bout à 137°,8 (H. Kopp), ce qui donne pour x la valeur de 3,54.

299. Enfin, comme j'en ai fait plusieurs fois l'observation, les corps dont les formules se ressemblent ont des ressemblances dans leurs propriétés physiques; c'est ainsi que l'oxalate de méthyle, 4. 6. 4, dont la formule ressemble à 4. 6. 3 (l'anhydride), présente encore la même anomalie relativement à x; il bout à 161° (Dumas et Péligot), ce qui donne $x = 3,42$; on sait que ce corps se distingue en outre de son homologue, l'éther oxalique 6. 10. 4, en ce qu'il est solide à la température ordinaire et fond à 50°, tandis que l'éther oxalique est liquide même au-dessous de 0°.

TABLEAU XXXIX.

Produits de substitution de l'acide acétique, 2.4.2

Formules.	a	n	x	Points d'ébullition. calc.	Points d'ébullition. obs.	Observateurs.
$C_2H_4O_2$	60	8				
$C_2H_3O_2Cl$	94,5	11	4	194,6	185—188	Hoffmann.
$C_2H_1O_2Cl^3$	163,5	17	3	190,1	195—200	Kekulé (*Lehrbuch*).
$C_2H_3O_2Br$	139	16	4	210,1	208	Kekulé.
$C_2H_2O_2Br^2$	218	24	4	232,1	232—234	de Clermont.
$C_2H_1O_2Br^3$	297	32	4	243,1	250	Gal.

300. Tous ces produits de substitution ont $x = 4$, excepté l'acide trichloracétique, 2. 1. 2, pour lequel x est $= 3$.
Cl^3

301. L'acide acétique, 2. 4. 2, est un corps plein d'anomalies, qu'il peut être utile d'énumérer ici brièvement:

1°. Densité anormale de vapeur.

2°. Point d'ébullition anormal.

3°. Sa dissolution aqueuse donne un maximum de pesanteur spécifique, qui ne correspond pas à la plus grande quantité d'acide dissous.

4°. Les deux produits de substitution par le chlore ont des valeurs différentes de x, respectivement $= 3$ et 4.

302. Il me semble probable, d'après ces anomalies, que l'acide ordinaire, 2. 4. 2, n'est pas un corps homogène, mais que c'est un mélange de deux acides isomères, dont l'un, avec $x = 3$, bouillirait à 88°,2 et l'autre, avec $x = 4$, à 154°,0.

303. On sait que de jour en jour s'accroît le nombre de ces corps, qui constituent des mélanges de substances isomères, ayant des propriétés physiques différentes.

304. Il est peu probable qu'on puisse effectuer la séparation des deux acides isomères, 2. 4. 2, par la distillation fractionnée; mais on réussirait peut-être à opérer cette séparation au moyen des deux produits de substitution par le chlore.

305. En exceptant provisoirement les corps 4. 6. 3 et 4. 6. 4, les séries $n(2n - 2)3$, anhydrides, et $n(2n - 2)4$, éthers, paraissent constituer des séries régulières.

TABLEAU XXXX.

Anhydrides $n(2n - 2)3$; série régulière; $x = m$.

Noms.	Formules.			a	n	x	Points d'ébullition.		Observateurs.
							calc.	obs.	
Acide.....	C	H	O						
Formique.....	2	2	3	74	7	1	20°,9		
Acétique.....	4	6	3	102	13	3	104,8		
Propionique ..	6	10	3	130	19	5	152,2	165	Limpricht.
Butylique.....	8	14	3	158	25	7	191,9	190	Gerhardt.
Valérianique .	10	18	3	186	31	9	227,4	215	Chiozza.

TABLEAU XXXXI.

Ethers $n(2n-2)4$; série régulière; $x=m$.

Formules.	a	n	m	Points d'ébullition. calc.	Points d'ébullition. obs.	Observateurs.	Désignation des isomères.
4 6 4	118	14	3	132,9	161	Dumas et Peligot.	(2 0 2) (2 6) 2
6 10 4	146	20	5	180,8	180	Mitscherlich.	(2 0 2) (4 10) 2
8 14 4	174	26	7	219,3	217	Kopp.	(4 4 2) (4 10) 2
10 18 4	202	32	9	253,5			
12 22 4	230	38	11	285,1	285	Carlet.	(10 16 2) (2 6) 2
14 26 4	258	44	13	314,8	308	Redtenbacher.	(10 16 2) (4 10) 2

306. M. Cahours a trouvé pour l'oxalate de butyle, 10. 18. 4, $s=224°$ à $226°$; ce qui correspond à $x=8$, s calculé $=222°,4$.

D'après le tableau, on devrait avoir $x=m=9$, d'où s calculé $=253°,5$.

Il est probable qu'il existe ici au moins deux corps isomères, avec $x=8$ et $x=9$. On est conduit à penser que ce ne sont pas seulement les corps isomères à caractères chimiques très dissemblables, comme un acide $n.2n.2$ et un éther de cette même formule, qui ont des valeurs différentes de x et bouillent par conséquent à des températures différentes; mais que des corps isomères, dont les caractères chimiques paraissent être les mêmes, peuvent cependant présenter, dans leurs valeurs respectives de x, des différences d'une unité, ou peut-être plus grandes. L'expérience seule pourra donner des lumières à cet égard.

Du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène, comparés aux autres éléments.

307. C, H et O paraissent être les seuls corps simples; chaque atome de ces corps compte, dans le calcul de n, pour une seule unité; tous les autres éléments comptent plusieurs unités dans leur atome. J'ai pu étendre mes observations et mes calculs à plus d'une vingtaine d'éléments, autres que C, H et O.

308. Ceci n'est pas le seul point de vue sous lequel C, H et O forment un groupe distinct des autres éléments; on les appelle quelquefois, conjointement avec l'azote, les éléments organiques. M. Littré, dans son livre *La Science*, observe „qu'au fond la vie n'appartient pas indifféremment à toute espèce de substance; qu'elle a une certaine vertu élective, et que ses rapports essentiels sont avec le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote".

309. Il semblerait donc exister quelque lien entre l'azote et C, H et O. Sans vouloir en tirer aucune conclusion prématurée, il est peut-être permis d'observer simplement que le poids atomique de N est 14, qu'il correspond à 3 atomes, et que ces mêmes attributs sont ceux de CH^2.

Du nitrogène et de son équivalent d'ébullition.

310. Il fut un temps, on le sait, où des chimistes éminents croyaient devoir considérer l'azote comme un corps composé, et un célèbre romancier français, dont le talent d'observation ne s'exerçait pas seulement sur les phénomènes ordinaires de la société, mais aussi sur ce qui se passait dans le monde scientifique, a consacré une fiction attrayante à peindre la vie d'un chimiste de cette époque, absorbé dans la poursuite du rêve qu'il pourrait réussir un jour à décomposer le nitrogène. Aujourd'hui, et depuis de longues années, on est généralement revenu à l'opinion que le nitrogène doit être regardé comme un corps simple au même titre que les autres éléments; seulement, comme la simplicité réelle de ces derniers est maintenant mise elle-même en question, il devient nécessaire de reviser le cas de l'azote.

311. Or il résulte de mes observations et de mes calculs, avec une complète évidence, que le nitrogène ne peut pas être un corps simple, mais qu'il renferme trois atomes de corps simples inconnus; je me propose de démontrer cette double assertion par plusieurs méthodes indépendantes l'une de l'autre, et comme cette démonstration peut, quant à la forme, être facilement étendue

à d'autres éléments, je me permettrai d'entrer à cet égard dans quelques développements.

312. La détermination de l'équivalent d'ébullition du chlore est facile, parce que la valeur de x des produits de substitution est presque toujours égale à celle des corps originaux; il n'y a donc pas lieu de *deviner* x, et la connaissance de x donne la valeur de n.

313. Comme on ne possède pas encore de règle générale pour déterminer x, l'équation

$$s = -273 + 27{,}8 \frac{a}{n} \sqrt{x},$$

qu'il s'agit d'appliquer aux combinaisons contenant de l'azote, renferme deux inconnues, n et x; elle n'est donc pas susceptible de résolution directe.

314. Il existe cependant, entre ces deux inconnues, des relations dont je vais maintenant m'occuper; je crois être arrivé à des résultats certains en opérant de la manière suivante.

J'ai pris un certain nombre de combinaisons azotées, dont les points d'ébullition étaient connus, et en faisant dans la formule,

$$n = \frac{27{,}8\, a \sqrt{x}}{273 + s}$$

x successivement $= 1$, 2, 3, 4 etc., j'ai obtenu pour l'équivalent d'ébullition de N, $Eq.N = n - (p + q + r)$, des valeurs entre 0 et 1, entre 1 et 2, entre 2 et 3, entre 3 et 4, et entre 4 et 5. En admettant, comme hypothèse provisoire, que l'équivalent d'ébullition était plus petit que 5, les valeurs trouvées, quoique fausses pour la plupart, devaient pourtant renfermer la valeur véritable inconnue, qu'il s'agissait dès lors de dégager des autres.

315. Le tableau suivant contient les résultats de cette première opération.

TABLEAU XXXXII.

Combinaisons contenant de l'azote.

Numéros.	Noms.	Formules.	Formules abrégées.	a	x	n	$n-(p+q+r)$
		C H O N					
1	Nitrobenzol.	6 5 2 N	13 + N	123	3	12,4	
	$s = 205°$				4	14,31	1,31
	Kekulé (*Lehrbuch*).				5	16,—	3,—
					6	17,52	4,52
2	Nitrate de butyle.	4 9 3 N	16 + N	119	3	14,5	
	$s = 123°$				4	16,71	0,71
	Chapman.				5	18,68	2,68
					6	20,46	4,46
3	Nitrine du	5 9 5 N	19 + N	163	3	17,4	
	lactate d'éthyle.				4	20,10	1,10
	$s = 178°$				5	22,47	3,47
	L. Henry.				6	24,61	5,61
4	Nitrophénol.	6 5 3 N	14 + N	139	3	13,7	
	$s = 216°$				4	15,81	1,81
	Hoffmann.				5	17,67	3,67
					6	19,36	5,36
5	Cyanure de phényle.	7 5 — N	12 + N	103	3	11,4	
	$s = 160°$				4	13,23	1,23
	Hoffmann.				5	14,79	2,79
					6	16,22	4,22
6	Cyanate de phényle.	7 5 1 N	13 + N	119	3	12,7	
	$s = 179°$				4	14,64	1,64
	Hoffmann.				5	16,36	3,36
					6	17,93	4,93
7	Cyanure de benzoyle	8 5 1 N	14 + N	131	3	13,1	
	$s = 207°$				4	15,18	1,18
	Kolbe.				5	16,96	2,96
					6	18,59	4,59

Numéros.	Noms.	Formules.	Formules abrégées.	a	x	n	$n - (p+q+r)$
		C H O N					
8	Pyridine.	5 5 — N	10 + N	79	3	9,8	
	$s = 115°$				4	11,32	1,32
	Andersen.				5	12,66	2,66
					6	13,86	3,86
					7	14,98	4,98
9	Nitro-éthane.	2 5 2 N	9 + N	75	3	9,34	0,34
	$s = 113°,5$				4	10,79	1,79
	Hübner.				5	12,06	3,06
					6	13,21	4,21
10	Cyanate de méthyle.	2 3 1 N	6 + N	57	2	5,0	
	$s = 40°$				3	7,16	1,16
	Wurtz.				4	8,77	2,77
					5	10,13	4,13
11	Cyanate d'éthyle.	3 5 1 N	9 + N	71	2	8,3	
	$s = 60°$				3	10,27	1,27
	Wurtz.				4	11,85	2,85
					5	13,25	4,25
12	Produit de substitution par NO_2 du	8 7 4 N	19 + N	181	4	18,2	
	benzoate de méthyle.				5	20,38	1,38
	$s = 279°$ Chancel.				6	22,33	3,33
					7	24,12	5,12
13	Prod. de subst. par NO_2 du benz. d'éthyle	9 9 4 N	22 + N	195	5	21,3	
					6	23,30	1,30
	$s = 296°$ E. Kopp.				7	25,17	3,17
	$s = 298°$ Chancel.				8	26,90	4,90
14	Cyanate d'allyle.	4 5 1 N	10 + N	83	2	9,1	
					3	11,26	1,26
					4	13,—	3,—
					5	14,53	4,53
15	Nitro-toluol.	7 7 2 N	16 + N	137	4	15,3	
	$s = 220$ à 225				5	17,19	1,19
	Wilson.				6	18,83	2,83
					7	20,34	4,34

316. Ensuite j'ai inscrit les valeurs résultantes pour *Eq*.N dans un autre tableau, de la manière suivante :

TABLEAU XXXXIII.

Inscription des valeurs trouvées pour *Eq*.N.

Numéros.	Formules.	0	1	2	3	4
1	6 5 2 N		1,31		3,00	4,52
2	4 9 3 N	0,71		2,68		4,46
3	5 9 5 N		1,10		3,47	
4	6 5 3 N		1,81		3,67	
5	7 5 N		1,23	2,79		4,22
6	7 5 1 N		1,64		3,36	4,93
7	8 5 1 N		1,18	2,96		4,59
8	5 5 N		1,32	2,66	3,86	4.98
9	2 5 2 N	0,34	1,79		3,06	4.21
10	2 3 1 N		1,16	2,77		4,13
11	3 5 1 N		1,27	2,85		4,25
12	8 7 4 N		1,38		3,33	
13	9 9 4 N		1,30		3,17	4,90
14	4 5 1 N		1,26		3,00	4,53
15	7 7 2 N		1,19	2,83		4,34

317. L'étude des nombres de ce tableau fait découvrir facilement la valeur véritable de l'équivalent d'ébullition de l'azote, *Eq*.N.

318. Supposons *Eq*.N $=g$; on peut s'attendre alors à trouver dans deux colonnes voisines 15 valeurs, dont environ la moitié entre g et $(g-1)$ et l'autre moitié entre g et $(g+1)$; la moyenne de ces 15 valeurs s'approchera d'un nombre entier, qui sera g.

319. En examinant les deux colonnes intitulées 0 et 1, on y voit (en supprimant le corps n° 9, qui donne une valeur entre 0 et 1 et une autre entre 1 et 2) 14 valeurs, dont seulement une entre 0 et 1, et 13 entre 1 et 2; il y a donc absence complète de symétrie, et la moyenne de ces 14 nombres s'écarte très

notablement de 1. De là ressort, comme résultat tout à fait certain: *que l'azote ne peut pas être un corps simple.*

320. En passant ensuite aux colonnes marquées 1 et 2, il convient de ne pas prendre en considération les corps n°. 5, 7, 8, 10, 11 et 15, comme donnant chacun deux valeurs, dont l'une entre 1 et 2 et l'autre entre 2 et 3.

321. Il reste alors 9 valeurs, dont une entre 2 et 3 et huit entre 1 et 2; ici encore, il y a donc manque de symétrie et une moyenne très différente du nombre 2. Il s'ensuit: *que l'azote doit contenir plus de deux atomes.*

322. Les colonnes désignées par 2 et 3 donnent (en exceptant le corps n°. 8) les 14 valeurs suivantes:

2,68	3,00	3,06
2,77	3,00	3,17
2,79		3,29
2,83		3,36
2,85		3,47
2,96		3,67

La moyenne de ces 14 nombres est = 3,06, résultat qui se rapproche suffisamment du nombre entier 3, pour pouvoir admettre, au moins provisoirement, que l'équivalent d'ébullition cherché de l'azote est = 3. Il convient d'ailleurs d'observer que les diverses valeurs se distribuent symétriquement autour de ce nombre; comme les deux valeurs 3 doivent être considérées comme appartenant autant à l'une des deux colonnes qu'à l'autre, on peut dire que chaque colonne renferme 7 nombres, ou la moitié de 14.

323. En appliquant le résultat obtenu, $Eq.N = 3$, au calcul des points d'ébullition des produits de substitution par NO_2, on pourra observer que, en général, la valeur de x augmente d'une unité par l'effet de cette substitution.

TABLEAU XXXXIV.

Produits de substitution par NO_2 (avec les corps originaux).

Nos.	Noms.	Formules.	a	n	x	Points d'ébullition. calc.	obs.	Observateurs.
		C H O						
1	Benzoate de méthyle.	8 8 2	136	13	5	196,7	198,5	Dumas et Peligot.
		8 7 2 NO_2	181	22	6	287,3	279	Chancel.
2	Benzoate d'éthyle.	9 10 2	150	21	6	213,4	212,9	H. Kopp.
		9 9 2 NO_2	195	25	7	300,7	298	Chancel.
3	Benzol.	6 6	78	12	4	88,5	85	L. Henry.
		6 5 NO_2	123	16	5	204,9	205	Kekulé (*Lehrbuch*).
		6 4 Cl NO_2	157,5	19	5	242,5	235	Sokoloff.
		6 3 Cl_2 NO_2	192	22	5	269,6	266	Jungfleisch.
4	Toluol.	7 8	92	15	5	108,4	108	Noad.
		7 6 Br NO_2	216	27	6	271,8	269	Wroblevsky.

324. J'appellerai cette (première) manière de trouver l'équivalent d'ébullition d'un élément, la méthode des densités de vapeur.

325. La seconde méthode est celle des densités liquides, — aux points d'ébullition ou à des températures correspondantes, — de combinaisons dont les unes renferment N et dont les autres ne le renferment pas.

326. J'admettrai (d'après les observations communiquées antérieurement) qu'on peut comparer les densités liquides des corps dont les formules se ressemblent; on a pour de pareils corps:

$$\frac{Dt}{Dt'} = \frac{n}{n'}; \text{ d'où } \frac{n}{Dt} = K = \text{Const.}$$

327. Le benzol, 6. 6, bout ($\sqrt{4}$) à 88°,5, et le nitrobenzol, $\overset{6.\ 5}{NO_2}$, ($\sqrt{5}$) à 204°,9; les valeurs de x sont différentes pour les

deux corps, mais la valeur de K est indépendante de x. Je prendrai pour températures correspondantes :

$$t = \frac{8}{10}(273 + s) - 273.$$

	t	Do		Dt	n	Kt
6. 6	16,3	0,8991	Kopp	0,8814	12	13,61
		0,865	Faraday	0,8484		14,14
6. 5 NO_2	109,4	1,2002	Kopp	1,0927	16	14,64
		1,2234	Mitscherlich	1,1138		14,36

J'ai calculé Dt d'après les expériences de M. H. Kopp.

328. On peut encore considérer l'alcool amylique, 5. 12. 1, et le nitrate d'amyle, 5. 11. 3. N, comme ayant des formules ressemblantes.

5. 12. 1 bout à 134°,8 $\sqrt{9}$; observé 134° Rieckher; $Do =$ 0,8248 H. Kopp; $D_7°,_3 = 0,8193$; $n = 18$; $K_7°,_3 = 21,98$.

5. 11. 3. N bout à 138°,7 $\sqrt{6}$; observé 137° Rieckher; $D_{10}° =$ 0,994 Hoffman; $n = 22$; $K_{10}° = 22,13$.

329. Il y a lieu d'observer que la méthode des densités des vapeurs nécessite une espèce de tâtonnement, qui cependant conduit au but, pourvu qu'il existe des données suffisantes ; la méthode des densités liquides, au contraire, donne un résultat direct; en comparant par exemple les densités des deux derniers corps, on a :

$$0,8193 : 0,994 = 18 : x,$$

$$\text{d'où } x = 21,84 \text{ et } Eq.N = x - 19 = 2,84.$$

330. La troisième méthode est celle des dissolutions ; elle donne aussi un résultat direct.

J'ai déjà traité ce sujet ici-même, en 1873, mais il ne sera pas inutile, je pense, de montrer comment on peut déduire d'un petit nombre d'expériences le resultat : $Eq.N = 3$.

331. M. Thomsen a déterminé pour un grand nombre de corps divers la densité de leurs dissolutions aqueuses à la température de 18^c ; j'extrairai de ses expériences les données suivantes, qui se rapportent toutes à des dissolutions renfermant pour 200 atomes d'eau un atome du corps dissous :

	D		D
KNO_3	1,0173	KCl	1,0136
$NaNO_3$	1,0160	$NaCl$	1,0118
HNO_3	1,0094	HCl	1,0052
BaN_2O_6	1,0584	$BaCl_2$	1,0502

332. Je crois utile de rappeler ici l'opinion émise par M. Thomsen, que les corps en dissolution aqueuse très étendue sont comparables entre eux, tout comme à l'état de vapeur.

333. Les densités des dissolutions, qui précèdent, se rapportent, comme l'on voit, à trois couples de corps RNO_3 et RCl, et à un couple RN_2O_6 et RCl_2; si l'équivalent d'ébullition de N est $= 3$, celui de NO_3 sera $= 6$, en sorte que, l'équivalent d'ébullition de Cl étant $= 4$, on aura les relations suivantes:

En appelant *Eq.* R l'équivalent d'ébullition de R (qu'il est inutile de prendre en considération), les équivalents d'ébullition des corps dissous seront:

$$\begin{aligned} \text{pour } RNO_3 &= Eq.\ R + 6 \\ \text{,, } RCl &= Eq.\ R + 4 \\ \text{,, } RN_2O_6 &= Eq.\ R + 12 \\ \text{,, } RCl_2 &= Eq.\ R + 8 \end{aligned}$$

On a ensuite:

$$Eq.\ R + 6 - (Eq.\ R + 4) = 2$$
$$Eq.\ R + 12 - (Eq.\ R + 8) = 4.$$

Or, ce sont ces différences 2 et 4 qui ressortent clairement des expériences citées, comme je vais le faire voir, et ainsi sera confirmé par la troisième méthode le résultat: *Eq.* N $= 3$.

334. J'ai démontré (en 1873) la formule suivante:

$$D - 1 = \frac{1}{\alpha (A + \lambda)};$$

en faisant $A = \infty$ (c'est-à-dire très grand, ou au moins assez grand) on en tire:

$$\frac{3}{\alpha} = 3\ A\ (D - 1).$$

Pour deux corps (RNO_3 et RCl) on a, en prenant $A = A'$,

$$\frac{3}{\alpha} - \frac{3}{\alpha'} = 3\,A\,(D - D').$$

J'ai encore (en 1873) démontré la formule:

$$\frac{3}{\alpha} = B\,\gamma - 3;$$

je rappellerai ici que B est l'équivalent d'ébullition du corps dissous, et γ une constante, trouvée par l'expérience environ $= 1{,}23$.

On aura donc pour les deux corps RNO_3 et RCl:

$$\frac{3}{\alpha} - \frac{3}{\alpha'} = B\gamma - B'\gamma = 2\gamma;$$

et par conséquent, en réunissant les formules qui contiennent $\frac{3}{\alpha} - \frac{3'}{\alpha'}$:

$$3\,A\,(D - D') = 2\,\gamma.$$

De même, pour les deux corps RN_2O_6 et RCl_2:

$$3\,A\,(D - D') = 4\,\gamma.$$

335. Le tableau suivant donne les valeurs de $2\,\gamma$ et de $4\,\gamma$, telles qu'elles résultent des expériences de M. Thomsen:

TABLEAU XXXXV.

Corps comparés			D—D′	3 A	$2\,\gamma$
KNO_3	et	KCl	0,037	600	2,22
$Na\,NO_3$	„	Na Cl	0,042	„	2,52
$H\,No_3$	„	H Cl	0,042	„	2,52
					$4\,\gamma$
$Ba\,N_2O_6$	„	$Ba\,Cl_2$	0,082	„	4,92
				$10\,\gamma =$	12,18
				$\gamma =$	1,22

336. En prenant des valeurs de A aussi grandes que possible, les valeurs de γ s'approchent très-près d'une constante, qui n'est pas encore connue avec la précision nécessaire; mais il ne peut rester de doute que les valeurs observées ici appartiennent à $2\,\gamma$ et à $4\,\gamma$.

Sur quelques cas particuliers de x.

337. En général, comme l'on sait, les points d'ébullition augmentent dans une série homologue, quand les poids atomiques s'accroissent; on a cru reconnaître, dans la plupart des séries, une augmentation de 19° pour chaque groupe additionnel CH_2.

338. Cependant, il existe aussi de certaines séries où le contraire arrive, c'est-à-dire, où les points d'ébullition baissent lorsque les poids atomiques s'accroissent; j'en donnerai ici pour exemple la série des éthylines, ou des corps qui résultent de la substitution, dans la glycérine 3. 8. 3, de 1, 2, 3 groupes d'éthyle 2. 5 à 1, 2, 3 atomes de H.

TABLEAU XXXXVI.

Ethylines, $n(2n+2)3$; $x = 9$ pour tous les corps de la série.

Noms.	Formules.	a	n	x	Points d'ébullition. calc.	obs.
Glycérine........	3 8 3	92	14	9	275,1	275 — 280
Monéthyline......	5 12 3	120	20	9	227,4	225 — 230
Diéthyline........	7 16 3	148	26	9	201,8	191
Triéthyline.......	9 20 3	176	32	9	185,8	185

Les données relatives aux points d'ébullition observés sont prises dans le Traité de M. Kekulé.

339. On voit que tous les corps de ce tableau ont la même valeur de x $(= 9)$; tandis qu'en général la valeur de x augmente, d'un corps à l'autre, d'une unité pour chaque groupe CH_2.

Alcools éthylique et allylique.

340. Ordinairement les combinaisons éthyliques ont les mêmes valeurs de x que les combinaisons allyliques correspondantes; cependant cela n'est pas le cas pour les deux alcools suivants:

		a	n	x	s calc.	s obs.
alcool éthylique	2. 6. 1	46	9	6	75,2	
alcool allylique	3. 6. 1	58	10	5	87,5	90°

Il existe peut-être un alcool 2. 6. 1, bouillant à $44°,7\sqrt{5}$.

Acides divers.

341. L'acide propionique, 3. 6. 2, et l'anhydride, 6. 10. 3, ont tous deux $x = 5$. Cette coïncidence n'est sans doute pas purement fortuite; toutefois, on ne la retrouve pas chez les autres acides; ainsi pour l'acide butyriqne, 4. 8. 2, x est $= 6$, tandis que pour son anhydride, 8. 14. 3, x est $= 7$.

342. Les acides suivants ont tous la même racine (celle de 5):

Acides:	C H O	a	n	x	s calc.	s obs.	
propionique	3. 6. 2	74	11	5	145°,2	141°,6	Kopp.
crotonique	4. 6. 2	86	12	5	172°,5	184°,7	Kek. (*Lehrbuch*)
succinique	4. 6. 4	118	14	5	251°,0	245°	Regnault.

Ces trois corps peuvent être considérés comme ayant des formules ressemblantes; la ressemblance des formules, qui paraît liée à la ressemblance des propriétés physiques, semble résider spécialement dans l'égalité numérique des atomes de l'hydrogène; les atomes de carbone ont comparativement peu d'influence, et les atomes d'oxygène en ont encore moins, ou peut-être pas du tout.

343. Il ne me paraît pas inutile de comparer ensemble deux corps dont les formules se ressemblent:

En assimilant l'acétone, 3. 6. 1, à l'aldéhyde propylique (pour ce qui concerne x et le point d'ébullition observé), on trouve (tableau XXXIV):

		s calc.	s obs.	
3. 6. 1.	$\sqrt{4}$	49,5	48,8	Linnemann;

d'autre part, on a pour l'éther méthylique (tableau XXV).

		s calc.	s obs.	
2. 6. 1	$\sqrt{3}$	—26°,9	—23,6	Regnault.

Ces deux corps, quoique ayant des formules ressemblantes, possèdent des valeurs de x différentes; mais, parmi leurs produits de substitution respectifs (par le chlore), il y en a deux qui montrent une grande ressemblance dans leurs propriétés physiques. Ce sont les produits appelés perchlorés.

	a	n	x	s calc.	s obs.	
2. —. 1 Cl_6	253	27	2	95°,4	100°	Regnault.
3. —. 1 Cl_6	265	28	2	99°,1	100°	Plantamour.

On voit que les valeurs de x sont les mêmes; les points d'ébullition diffèrent peu.

344. Il arrive souvent que pour des produits perchlorés la valeur de x change. D'un autre côté, on a observé que ces produits perchlorés donnent quelquefois 4 volumes de vapeur, au lieu de 2 volumes; le perchorure de l'éther méthylique se trouve dans ce cas, mais j'ignore s'il en est de même pour l'acétone perchlorée. Il ne serait pas impossible qu'il existât quelque relation entre le dédoublement du volume de vapeur et le changement de la valeur de x.

Cas de l'acide carbonique.

345. Je terminerai ce Mémoire par le cas particulier (de x) que j'appellerai celui de l'acide carbonique CO_2, quoiqu'on puisse aussi l'observer, avec quelques modifications, dans les corps CS_2, SO_2, SO_3, CO et O_2.

Si nous admettons pour CO_2 le point d'ébullition $-78°,2$, trouvé par M. Regnault, on voit que la formule

$$s = -273 + 27,8 \frac{a}{n} \sqrt{x}$$

n'est pas applicable à ce corps; car, en prenant $x = 1$, la constante 27,8 (considérée comme n'étant peut-être pas la même pour tous les corps) devrait être remplacée par la valeur 13,28; en laissant la constante $= 27,8$, on ne trouve pas une valeur entière pour x, qui devient alors $= \frac{1}{4,38}$.

346. Pour faire voir que le cas de CO_2 est (avec des modifications) applicable aux corps CO et OO, dont les points d'ébullition ne sont pas connus, j'ai calculé les valeurs de la constante (qui pour les autres corps est 27,8) dans l'hypothèse où ces deux corps bouilliraient au-dessous de $-100°$; je donnerai les résultats du calcul pour CO:

$$\text{valeur de la constante} = \frac{2\,(273 - 100)}{28 \sqrt{1}} = 12,2;$$

$$\text{valeur de } x\text{, en supposant que la constante soit 27,8,} = \frac{2^2 (273 - 100)^2}{28^2\ 27,8^2} = \frac{1}{5,2}.$$

Ce phénomène doit rester provisoirement sans explication.

ROTTERDAM, Mars 1874.

SUR UN

MÉTÉOROGRAPHE UNIVERSEL

DESTINÉ AUX

OBSERVATOIRES SOLITAIRES,

PAR

E. H. VON BAUMHAUER.

(*Communiqué dans la séance de l'Académie Royal d'Amsterdam du* 30 *Mai* 1874.)

Parmi les questions que la Société hollandaise des sciences avait mises au concours en 1870, figuraient les deux suivantes, pour lesquelles le terme de rigueur était fixé au 1er Janvier 1872:

„La Société offre sa médaille d'or et, de plus, une prime de trois cents florins à celui qui fera connaître un moyen satisfaisant, fondé sur l'emploi de cerfs-volants ou de ballons captifs, pour élever des instruments météorologiques à une hauteur considérable dans l'atmosphère et les y maintenir pendant au moins 24 heures."

„La Société récompensera de sa médaille d'or la présentation d'un instrument météorologique à enregistration automatique, — soit thermomètre, baromètre ou hygromètre, — propre à être fixé à un cerf-volant ou à un ballon, et à donner, au moins pendant 24 heures, des indications satisfaisantes sur l'état de l'atmosphère à de grandes hauteurs."

Les questions ainsi formulées n'ayant provoqué aucune réponse dans les limites de temps assignées, elles furent remises au con-

cours en 1872, mais, cette fois, modifiées dans leur forme et fondues en une seule, dont voici l'énoncé:

„Trouver un moyen satisfaisant de déterminer la température, l'état d'humidité et la densité de l'air atmosphérique à une hauteur considérable au-dessus de la surface terrestre; ce moyen devra permettre l'enregistrement automatique des observations, ou au moins leur répétition fréquente."

Par cet appel, la Société hollandaise avait témoigné de l'importance qu'elle attachait à voir la Météorologie s'enrichir d'instruments enregistreurs, thermomètres, baromètres et hygromètres, propres à faire connaître la température, la pression et l'état hygrométrique de l'atmosphère à des altitudes considérables au-dessus de la surface du sol, ou en des lieux qui ne sont pas accessibles à l'homme d'une manière permanente. La Société montrait clairement qu'elle partageait la conviction de beaucoup de personnes, savoir, que la Météorologie, telle qu'elle est encore partout cultivée, ne satisfait pas aux exigences qu'on est en droit de lui poser, eu égard aux ressources dont la science dispose aujourd'hui.

Si l'on considère, en effet, que la presque totalité des observations se fait, non-seulement à la surface même du sol, mais dans des masses d'air situées à l'intérieur ou à proximité des villes, entourées de bâtiments et placées sous l'influence de cheminées et d'une foule d'autres sources d'échauffement, on conviendra que les données ainsi obtenues, surtout en ce qui concerne la température et l'humidité de l'air, sont peu propres à nous renseigner exactement sur l'état de l'atmosphère et sur les changements qu'il subit, aux diverses heures de la journée et aux diverses époques de l'année, sous l'action des causes naturelles. En outre, ces observations nous laissent dans une une ignorance presque absolue au sujet des courants qui s'établissent à une certaine hauteur dans l'atmosphère et qui se meuvent souvent dans une direction opposée à celle des courants inférieurs.

Le sentiment de cette insuffisance des observations ordinaires a déjà donné naissance à une foule de projets pour la construction

d'observatoires météorologiques sur de hautes montagnes (tels, par exemple, que celui élevé près de Berne, par un savant météorologiste, M. Wild), ou sur des rochers et des promontoires s'avançant dans la mer. C'est à ce même sentiment que sont dues les tentatives faites dans les derniers temps, surtout en France, pour organiser des voyages aériens en ballon, avec le but spécial de recueillir des observations météorologiques.

La difficulté toutefois réside en ceci, que les observations demandent l'intervention de l'homme, et même d'hommes ayant reçu une certaine éducation scientifique. Or les conditions dans lesquelles ces observations doivent se faire n'ont, en général, rien de bien attrayant. Passer un hiver, par exemple, au sommet ou à mi-hauteur du Mont-Blanc, dans un observatoire qu'il faut approvisionner pour au moins huit ou dix mois de vivres et de combustible, et où on a la perspective de rester tout ce temps complétement séparé du monde et exposé à toutes sortes d'incommodités et de privations, c'est là, certes, un sort très peu enviable. Les ascensions aérostatiques, d'un autre côté, d'après l'expérience qui en a été faite par Gay-Lussac, Barral, Bixio, Glaisher, Sivel, Crocé Spinelli et tant d'autres, entraînent des inconvénients non moins graves. Sans parler des dangers inséparables de ces expéditions, on a à lutter contre le froid intense des hautes régions (20°—30° sous zéro), qui rend les observations presque impossibles, et contre les effets de la raréfaction de l'air, qui fait perdre connaissance à l'observateur, s'il n'a pas eu la précaution d'emporter un mélange respiratoire riche en oxygène. Il est à craindre qu'on ne trouverait pas un grand nombre de savants disposés à affronter, pour l'amour de la Météorologie, de pareils hasards.

Le résultat désiré serait obtenu avec infiniment moins de peines et de dépenses si, dans ces lieux accessibles seulement à des époques plus ou moins éloignées, on pouvait ériger des observatoires météorologiques spéciaux, — que nous désignerons brièvement, à cause de leur position isolée, sous le nom d'*observatoires solitaires*, — dont les instruments seraient construits de manière à n'exiger que de loin en loin, et même une seule fois par année,

la visite d'un surveillant, et à transmettre dans l'intervalle, d'une façon continue et régulière, leurs indications à un établissement principal, situé dans une région habitée. Le matériel d'un pareil observatoire solitaire, s'il occupait peu d'espace et était suffisamment léger, pourrait encore s'adapter à un ballon captif, dont le câble servirait à établir la communication nécessaire entre les instruments et le sol.

Le problème ainsi posé n'a, évidemment, rien d'insoluble. Il a même déjà été attaqué, avec plus ou moins de succès, par divers inventeurs. Toutefois, les dispositions imaginées jusqu'à ce jour sont toutes, à mon avis, trop compliquées et, par suite, trop sujettes aux dérangements et trop coûteuses; aussi y en a-t-il fort peu qui aient obtenu les honneurs de l'application. Tous ceux qui ont visité l'Exposition de Paris, en 1867, se rappelleront sans doute le météorographe monumental exposé par le Père Secchi, et qui valut à ce savant la plus haute récompense dont le Jury disposait. Malgré son mérite éminent, cet appareil avait pourtant deux grands défauts: il était trop colossal et, surtout, son prix s'élevait à 18000 francs, ce qui le mettait hors de la portée de la plupart des savants et même de beaucoup d'établissements scientifiques.

En réfléchissant sur ce sujet, j'étais arrivé, il y a un an déjà, à une solution très simple, me semblait-il, de la question proposée par la Société hollandaise. Je songeais même à soumettre ma solution au jugement de la Société, lorsque j'en fus empêché par la circonstance que, avant l'expiration du terme fixé (1er Janvier 1874), un Mémoire sur cette question, écrit en italien, fut envoyé comme pièce de concours; ma qualité de secrétaire de la Société m'interdisait, naturellement, de me poser en concurrent. Maintenant, toutefois, que la Société, conformément à l'avis de ses Commissaires, a jugé, dans la séance générale du 16 Mai 1874, que le Mémoire adressé au concours n'était pas digne du prix, je me hasarde à produire mon idée et à la soumettre à l'appréciation des physiciens et des météorologistes. Je dis „mon idée", car jusqu'à présent, et faute de moyens, l'appareil n'a pas encore été

exécuté. Mais, vu la grande simplicité du principe adopté pour l'enregistrement autographique, je crois que la réalisation pratique ne rencontrerait aucune difficulté sérieuse.

La question proposée par la Société est un peu vague dans son énoncé, de sorte qu'il faut commencer par la préciser davantage, en distinguant différentes conditions qui sont de nature à influer beaucoup sur la solution.

1°. Une première distinction, d'une grande importance, est de savoir si, par „hauteur considérable", on doit entendre un point fixe accessible, tel que le sommet d'une montagne ou d'un rocher avancé en mer, fournissant aux instruments une base solide, ou bien un point élevé de l'atmosphère, où ces instruments devraient être portés au moyen d'un ballon captif ou d'un cerf-volant. Dans ce dernier cas, en effet, il ne saurait être question d'employer un baromètre à mercure, même avec une suspension à la Cardan, attendu que les oscillations, sous l'influence de la moindre brise, seraient beaucoup trop fortes. En outre, les observations barométriques auront alors peu de valeur pour la connaissance des variations de la pression atmosphérique, si l'on n'a pas la certitude que l'instrument est resté à la même hauteur au-dessus du niveau de la mer, ou si l'on ne sait pas avec précision de combien de mètres le ballon est monté ou descendu. Il est vrai que la hauteur d'un ballon captif se déduit de la longueur déroulée du câble et de l'angle qu'il fait avec la verticale; mais, à raison des oscillations possibles et de la courbure que le câble affectera en tout état de cause, cette détermination restera toujours très difficile et incertaine; or une erreur de 10 à 20 mètres sur la hauteur du ballon peut correspondre à une différence de 1 millimètre dans la longueur de la colonne barométrique.

2°. Il n'est pas indifférent non plus, pour la solution du problème, que l'on se contente d'observations enregistrées à l'endroit même où se trouvent les instruments, et dont par conséquent on aura connaissance seulement à la fin d'une série plus ou moins longue, ou bien que l'on demande aux instruments de l'observatoire solitaire de transmettre à chaque instant leurs indications à l'ob-

servatoire principal, pour y être comparées avec les observations recueillies dans celui-ci. Le second de ces systèmes, auquel les météorologistes donneront sans doute la préférence, exigera naturellement une communication télégraphique, dont le premier peut se passer.

3°. Enfin, un point essentiel est de savoir pendant combien de temps les observations devront s'enregistrer sans qu'on ait besoin de se rendre à l'observatoire solitaire pour remonter une horloge ou pour exécuter quelque autre manœuvre. La difficulté ne sera pas la même, bien entendu, suivant que les appareils auront à marcher seuls pendant 24 heures, ou pendant un mois, ou même pendant une année entière, comme cela serait le cas si l'observatoire solitaire était établi sur une haute cime, dont l'abord serait rendu impraticable par la neige durant la majeure partie de l'année, ou sur un rocher isolé au milieu de la mer, et auquel les navires n'aborderaient qu'à de longs intervalles.

En traitant la question proposée par la Société hollandaise, nous chercherons à tenir compte des conditions que nous venons d'indiquer, et nous distinguerons en conséquence deux espèces différentes d'observatoires solitaires, savoir :

1°. Ceux qui sont destinés seulement à recueillir des observations pendant une dizaine de jours tout au plus, et auxquels on ne demande de faire connaître les résultats inscrits qu'à l'expiration de ce terme.

2°. Ceux qui, placés en un point fixe très élevé, ne peuvent être visités que de loin en loin, et qui doivent transmettre leurs observations, immédiatement et régulièrement, à l'observatoire principal.

En dernier lieu, nous parlerons encore des observatoires solitaires suspendus à des ballons captifs, et qui se laissent ramener à l'une ou à l'autre des deux catégories précédentes, suivant qu'on exige ou qu'on n'exige pas la transmission des observations.

Quelle que soit la disposition adoptée, pour qu'elle rende des services à la Météorologie, elle devra satisfaire à des conditions

assez nombreuses et assez strictes, dont les principales sont les suivantes :

1°. Les instruments doivent donner des indications exactes. Il ne s'agit pas ici, toutefois, d'une précision poussée à l'excès, car les météorologistes sont d'accord pour reconnaître qu'ils n'ont pas à se préoccuper, dans leurs observations thermométriques ou barométriques, d'une différence de $\frac{1}{20}$—$\frac{1}{10}$ de degré centésimal ou de $\frac{1}{10}$—$\frac{1}{20}$ de millimètre de mercure.

Une précision de $\frac{1}{2}$ degré pour les indications du thermomètre et de $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{4}$ de millimètre pour la hauteur barométrique est amplement suffisante; l'essentiel est que ces indications ne puissent jamais être faussées.

2°. Les instruments doivent être aussi simples que possible, afin que les chances de dérangement soient réduites à un minimum.

3°. L'installation ne doit pas être trop coûteuse.

4°. Il faut que le travail et les soins de l'homme ne jouent qu'un rôle très subordonné; autant que possible, les instruments doivent fonctionner et l'enregistrement se faire sans que le météorologiste ait à s'en occuper.

5°. Les moyens d'enregistrement doivent être tels, que toutes les observations soient réunies sur un tableau, traduites par des courbes permettant de constater d'un coup d'œil la marche des instruments.

6°. En cas de communication électrique entre l'observatoire solitaire et l'observatoire principal, le nombre des fils conducteurs doit être aussi petit que possible. Cette condition s'impose surtout si l'on opère avec un ballon captif, car il faut éviter d'augmenter outre mesure le poids du câble qui doit être porté par le ballon.

7°. Lorsqu'on emploie un courant galvanique, celui-ci ne doit pas entrer en contact immédiat avec les instruments, parce que leur marche éprouverait des perturbations, surtout sous l'influence des étincelles qui jaillissent au moment de l'établissement ou de la rupture du circuit; en outre, ces étincelles, tombant sur des surfaces métalliques, y produisent des phénomènes d'oxydation,

qui sont une cause de détérioration rapide pour les instruments. Pour cette raison, l'emploi de baromètres et de thermomètres à mercure munis de fils de platine scellés dans le verre, comme ceux des appareils de Wheatstone et autres, me paraît devoir être proscrit absolument.

Nous n'avons pas à porter ici un jugement sur les instruments météorologiques eux-mêmes, et à décider si le baromètre à siphon ou le baromètre à cuvette doivent obtenir la préférence sur le baromètre à balance, adopté dans le météorographe du P. Secchi, ou sur les deux espèces de baromètres anéroïdes. La manière dont les indications sont transmises, dans le système que je propose, permet l'emploi de tous ces instruments, parce que chez tous, même chez le baromètre à siphon, le mouvement peut être communiqué à un levier; il n'y a, pour cela, qu'à adapter un flotteur, à l'instrument comme on le fait dans le baromètre à cadran.

En ce qui concerne la température, on peut se servir de tous les instruments qui, reposant sur la dilatation de corps solides, donnent le moyen de faire mouvoir un levier; tels sont le thermomètre de Breguet, le thermographe du P. Secchi, fondé sur la dilatation linéaire d'un fil de cuivre, le thermomètre métallique du Dr. Krecke, fondé sur la dilatation différente du zinc et du verre, et qui fonctionne déjà depuis de longues années à l'Observatoire d'Utrecht. On peut aussi utiliser le thermomètre à air, le levier étant alors mis en mouvement par un flotteur placé sur le mercure du manomètre. Seul, le thermomètre ordinaire à mercure reste ici sans emploi [1]).

Pour la détermination de l'état hygrométrique de l'air, on ne peut s'adresser qu'aux instruments qui reposent sur l'allongement ou le raccourcissement de certaines substances animales et sur la transmission de ces mouvements à une aiguille; tels sont l'hy-

[1]) A ce qu'on m'a dit, à l'observatoire de Bruxelles fonctionne un thermomètre à mercure, dont le tube horizontal repose sur un couteau de balance, de manière que la colonne de mercure, en s'allongeant fait incliner de plus en plus l'extrémité du tube; l'indication de cet instrument peut donc être enregistrée comme celle d'un appareil à cadran.

gromètre à cheveu et l'hygromètre à boyau. Le psychromètre d'August et l'hygromètre de Daniell ne trouvent ici pas d'application. Quant à mon aréomètre hygrométrique, que je persiste à regarder comme l'instrument le plus convenable et le seul exact pour la détermination de l'état hygrométrique de l'air, nous y reviendrons plus loin. Il sera alors question aussi de l'enregistrement de la direction du vent au moyen de la girouette, de celui de la vitesse du vent au moyen du moulinet de Robinson, avec ses quatre cuillers hémisphériques, et enfin de l'enregistrement de la quantité de pluie, mesurée suivant une méthode que j'ai indiquée il y a une vingtaine d'années pour l'évaluation du débit des conduites d'eau. Toutes ces déterminations peuvent s'inscrire simultanément, à l'aide de la disposition que je ferai connaître.

I.

Observatoires solitaires sans transmission.

Le peu d'intérêt que présentent au météorologiste des observations dont il n'apprend les résultats qu'au bont d'un certain temps, est sans doute la cause pour laquelle on n'a pas établi déjà depuis longtemps des observatoires solitaires du genre de ceux que j'ai ici en vue. Leur installation, en effet, n'offrirait aucune difficulté, et ils auraient l'avantage qu'on en pourrait desservir plusieurs avec un faible personnel, du moins s'ils n'étaient pas trop éloignés les uns des autres. A chacun d'eux il ne faudrait qu'une visite tous les 10 ou 15 jours, pour remonter l'horloge, renouveler la feuille où s'inscrivent les observations et inspecter les instruments. Ces observatoires pourraient être placés partout, de préférence loin des habitations; les frais de premier établissement seraient peu considérables, et les seules précautions à prendre auraient pour objet de mettre les instruments à l'abri de la pluie et du vent et hors de l'atteinte des malfaiteurs. Les observations, inscrites automatiquement, d'une façon réglée et continue, offriraient au météorologiste des garanties d'exactitude que ne possèdent pas au même degré les observations recueillies de main d'homme, auxquelles on peut toujours objecter le *humanum est errare.*

La disposition suivante me paraît répondre complétement au but proposé.

Un baromètre anéroïde, un thermomètre métallique et un hygromètre à cheveu sont montés sur une planche l'un à côté de l'autre, de manière que les axes autour desquels tournent leurs aiguilles se trouvent situés en ligne droite ; ces aiguilles, de longueur égale, se meuvent en outre dans le même plan, mais de façon que chacune d'elles, dans ses plus grands écarts, ne puisse décrire qu'un arc de 120° tout au plus. Plaçons maintenant à peu de distance au-dessus de ces aiguilles une feuille de papier, à laquelle une horloge imprimera un mouvement de translation uniforme, et sur laquelle auront été marqués d'avance les arcs de cercle qui correspondront, d'heure en heure, à l'arc décrit par l'extrémité de chaque aiguille ; en supposant alors cette extrémité armée d'un crayon de plombagine, celui-ci tracera sur le papier une courbe, qui indiquera à la fois les positions successives de l'instrument et l'heure correspondante.

Mais le frottement d'un crayon sur le papier serait beaucoup trop fort pour des instruments aussi délicats et fausserait nécessairement leurs indications. Il vaudra donc infiniment mieux avoir recours à la méthode aujourd'hui généralement pratiquée dans les laboratoires physiologiques pour l'enregistrement des mouvements délicats, méthode qui repose sur l'emploi de papier blanc glacé, préalablement noirci au-dessus d'une flamme fuligineuse ; à l'extrémité de l'aiguille sera alors attachée perpendiculairement une fine barbe de plume, qui, glissant presque sans frottement sur le papier noirci, y tracera une ligne blanche. Ces tracés pourront ensuite être fixés au moyen de l'immersion de la feuille de papier dans une solution faible de gomme ou de vernis.

Il sera peut-être encore plus avantageux d'employer, au lieu de papier enduit de noir de fumée, une plaque de verre traitée de la même manière. Les observations étant terminées, on posera la plaque sur un papier imprégné de sel d'argent, et on exposera le tout à la lumière ; les lignes, où l'enduit a été enlevé par les barbes de plume, s'imprimeront alors en noir sur le papier. Si

l'on a en outre gravé sur la plaque, à l'aide d'un diamant, les divisions en degrés ou en millimètres, ainsi que les marques relatives au temps, on pourra obtenir très simplement, sur le papier sensible, toutes les indications nécessaires. La première exposition à la lumière a donné, comme nous venons de le dire, la reproduction en noir des courbes tracées par les barbes de plume; laissant alors le papier sensible solidement fixé sous la plaque de de verre, on essuie celle-ci avec un linge, de manière à enlever tout le noir de fumée, sauf celui qui s'est logé dans les traits creusés par le diamant. Si, dans cet état, la plaque est de nouveau soumise pendant quelques instants à l'action de la lumière, la surface entière du papier prendra une teinte grise, sur laquelle se détacheront en noir les courbes obtenues antérieurement, et en blanc les traits dus au diamant. Après un traitement à l'hyposulfite de soude et un lavage à l'eau, on aura donc, de cette manière, un schéma durable des observations; celui-ci pourra être multiplié par la lumière, si, au lieu de papier sensible, on prend une couche de collodion, employée ensuite comme négatif.

Nous verrons tantôt que les indications de la direction et de la vitesse du vent et celles du pluviomètre se laissent représenter, avec une extrême simplicité, par des lignes droites, de sorte que leur transport sur la plaque de verre noircie, au moyen d'une barbe de plume, s'effectue de la même manière que ci-dessus.

Ainsi donc, aucune difficulté tant qu'il ne s'agit que d'un observatoire météorologique solitaire pouvant être visité, par exemple, deux fois par mois, et où une horloge ordinaire, marchant pendant 15 jours sans être remontée, enregistre les observations, qui n'ont besoin de passer sous les yeux du météorologiste qu'à l'expiration de ce terme. La difficulté commence seulement lorsque le météorologiste, de son poste à l'observatoire principal, veut connaître à chaque instant l'état des instruments à l'observatoire solitaire plus ou moins éloigné, pour comparer entre eux les phénomènes observés aux deux stations.

II.

Observatoires solitaires avec transmission.

Prenons un baromètre anéroïde ordinaire, pourvu, comme le sont la plupart de ces instruments, d'une seconde aiguille, fixée sur la plaque de verre et servant à comparer la position du baromètre à un moment donné avec celle qu'on observera à un instant postérieur; supposons ensuite que la plaque de verre soit enlevée, mais que la seconde aiguille soit maintenue de l'une ou de l'autre manière dans sa position au-dessus du cadran de l'anéroïde, et qu'en outre elle reçoive d'une horloge un mouvement de rotation uniforme autour de son axe. En d'autres termes: représentons-nous un baromètre anéroïde sans plaque de verre, et, vis-à-vis de lui, une horloge placée de façon que l'axe sur lequel tourne l'aiguille des minutes se trouve dans le prolongement de l'axe autour duquel oscille l'aiguille du baromètre. Désignons cette dernière aiguille par la lettre A, et l'aiguille des minutes par la lettre B; il est clair que l'aiguille B, à chacune de ses révolutions, recouvrira une fois l'aiguille A.

Les plans dans lesquels se meuvent ces deux aiguilles métalliques étant supposés à une distance de quelques millimètres l'un de l'autre, fixons à l'extrémité de B une fine languette de métal, qui, en passant sur l'extrémité de A, établira entre les deux aiguilles un contact métallique, sans toutefois exercer un frottement assez fort pour dévier l'aiguille A de sa direction. Faisons en outre communiquer l'aiguille A, par un fil conducteur, avec le pôle positif d'un élément galvanique placé loin de là, dans la station centrale, et relions de même l'aiguille B au pôle négatif de cet élément; à chaque révolution de l'aiguille B, il y aura alors un instant où le circuit se trouvera fermé.

Introduisons maintenant dans le trajet du fil positif, au voisinage de l'élément galvanique, un appareil consistant en un cylindre métallique vertical, qui, sous l'action d'un mouvement d'horlogerie, tourne sur son axe de manière à accomplir une révolution

dans le même temps que l'aiguille des minutes B dont il a été question plus haut, et qui en outre, à chacune de ces révolutions, descend d'une petite quantité. Recouvrons ce cylindre métallique d'une feuille de papier humide, imprégnée d'un sel susceptible d'éprouver un changement de couleur sous l'influence d'un courant galvanique (p.ex., l'iodure de potassium mêlé d'amidon). Si alors on laisse s'appuyer sur le papier humide une pointe métallique communiquant avec le pôle négatif, il est évident qu'à chaque tour du cylindre il se formera sur le papier une petite tache colorée, au moment même ou les aiguilles A et B viennent en contact. Comme d'ailleurs l'aiguille B et le cylindre ont un mouvement isochrone, il suffira que le papier porte des divisions semblables à celles du baromètre anéroïde, pour que l'indication de ce dernier, au moment précis dont nous venons de parler, s'inscrive sur le papier et puisse y être relevée.

En réfléchissant, toutefois, que l'aiguille de l'anéroïde, dans ses plus fortes oscillations, décrit tout au plus un arc de 120°, on comprendra que notre appareil peut exécuter plus de travail que le simple enregistrement des indications barométriques.

Plaçons en face de l'anéroïde, et à une petite distance, un thermomètre métallique circulaire, dont l'aiguille C ait la même longueur que celle de l'anéroïde, et dont l'axe soit situé dans le prolongement de l'axe de l'anéroïde. Ces conditions restant remplies, tournons le thermomètre métallique de telle façon que le point de l'arc gradué, répondant à la position moyenne de l'aiguille (15° C.), soit diamétralement opposé au point qu'occupe en moyenne l'aiguille A du baromètre anéroïde (760 mm.). Quant à l'horloge, nous la supposons reportée ailleurs, sauf l'aiguille des minutes B, qui tourne entre les deux plans des aiguilles A et C. Si à l'extrémité de cette aiguille B nous adaptons, au lieu de la languette simple dont nous l'avions armée ci-dessus, une languette double pliée en S, l'aiguille B, dans le cas où les instruments sont bien placés, entrera à chaque révolution une fois en contact avec l'aiguille A et une fois avec l'aiguille C. Cette dernière étant reliée, tout comme l'aiguille A, au fil polaire

positif, on obtiendra sur le papier préparé, à chaque révolution, deux indications différentes, sur la signification desquelles il ne pourra subsister de doute, attendu que les places où elles s'inscrivent rendent toute confusion impossible.

Telle a été ma première idée, et, en dépit des modifications que j'y ai successivement apportées, elle est restée le fondement du mécanisme que je vais maintenant décrire et qui me semble résoudre, d'une manière très simple, le problème de la construction d'un météorographe universel pour observatoires solitaires.

Dans cette description, ainsi que dans le dessin destiné à en faciliter l'intelligence, je négligerai entièrement les instruments météorologiques eux-mêmes, parce que, comme je l'ai déjà fait remarquer plus haut, on peut employer tous les instruments dont les mouvements sont susceptibles d'être transmis à un levier. La figure ne montrera donc rien que ces leviers, terminés par des arcs dentés qui engrènent avec les roues dentées auxquelles sont fixées les aiguilles.

Chez tous ces instruments, d'ailleurs, la transmission du mouvement au levier devra être calculée de manière que les aiguilles, dans leurs plus grand écarts, ne décrivent qu'un arc déterminé, dont le nombre de degrés dépendra du nombre d'instruments qu'on veut combiner dans le météorographe. Dans l'exemple que j'ai choisi, les aiguilles ne doivent se déplacer que de 90°, pour qu'elles ne viennent jamais en contact l'une avec l'autre, et pour que les indications d'un des instruments ne s'inscrivent jamais sur la zone du cylindre destinée aux indications d'un autre. Le système adopté par moi repose, en effet, sur l'observation successive des divers instruments.

Pour ce qui regarde le vent et la pluie, ils demandent une disposition différente. La détermination de la direction du vent exige une révolution entière, et il en est de même de la mesure de sa vitesse au moyen du moulinet de Robinson. Ainsi qu'il a déjà été fait pour d'autres météorographes, j'ai admis que dans le moulinet de Robinson, pourvu d'une vis sans fin et du nombre nécessaire de rouages de transmission, la roue destinée à l'enre-

gistrement n'exécute qu'une seule révolution dans le temps que le courant d'air met à parcourir l'espace de 20 kilomètres, temps qui n'est qu'assez rarement inférieur à une heure.

Quant au pluviomètre, je propose une disposition que j'ai déjà recommandée, il y a une vingtaine d'années, pour la mesure des liquides en général, et pour celle des matières solides granuleuses ou pulvérulentes, disposition que la figure I fera aisément comprendre sans explication détaillée.

Soit A un réservoir de section connue, servant à recueillir la pluie, dont la quantité doit être mesurée par l'hydromètre. L'eau tombe par le tube *a*, — terminé inférieurement en tuyau d'arrosoir représenté en M, afin que la chute de l'eau ne produise pas de choc,— dans l'auget *b*, *b*, *b*, *b*, qui a la forme d'un secteur de cylindre et qui peut basculer autour de l'axe *d*. Comme le montre la figure, il y a deux augets égaux accouplés, dont l'un se trouve toujours sous l'arrosoir, tandis que l'autre se décharge de l'eau qu'il vient de recueillir. La section transversale des augets est un triangle scalène, de sorte que le plan vertical passant par l'axe partage l'auget en deux parties de capacité inégale; l'excès du poids de l'eau dans la partie extérieure fait basculer l'auget, et pour qu'on puisse régler avec précision la quantité d'eau qui déterminera ce mouvement de bascule (par ex. un litre ou une fraction de litre), les augets tombent avec leurs lèvres *m m* sur les coussins en caoutchouc *o o*, dont la position est réglée par les vis R R. La figure montre comment le mouvement est ensuite transmis jusqu'à une dernière roue, dont chaque révolution répond à une quantité d'eau écoulée égale à 100 litres (ou divisions déterminées du litre).

Nous avons donc ici trois appareils dont la marche se traduit, en dernière analyse, par un mouvement de rotation, qui, pour la facilité de l'enregistrement, doit être transformé en un mouvement rectiligne. Le moyen le plus simple d'opérer cette transformation me paraît être celui que je vais décrire. Il ne faut toutefois pas perdre de vue, à cette occasion, que la construction de mon méréorographe repose sur l'hypothèse que les indications

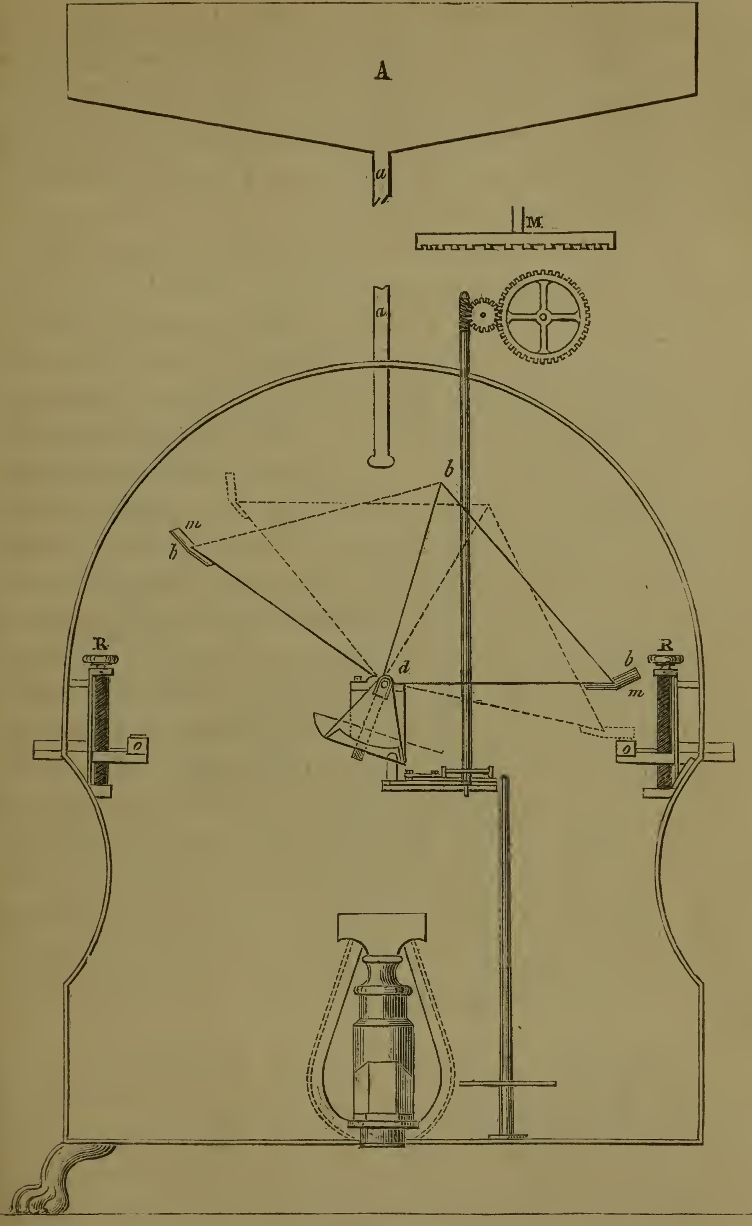


Fig. I.

de chaque instrument météorologique seront enregistrées une fois par heure. Les instruments pour la vitesse du vent et la

quantité de pluie doivent donc être disposés de manière que la roue, chargée de donner les indications, ne fasse jamais une révolution entière dans la durée d'une heure; autrement, il pourrait rester douteux si le courant d'air a parcouru, par exemple, 2 ou 22 kilomètres pendant l'heure écoulée, ou si le pluviomètre a livré passage à 5 ou à 105 litres d'eau.

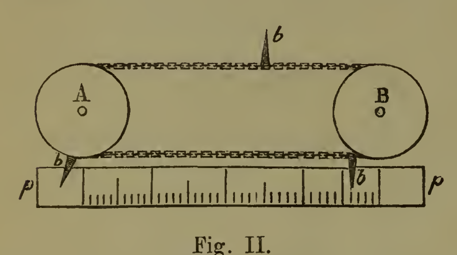


Fig. II.

Soient deux roues A et B (fig. II,) de même rayon, placées dans le même plan et de telle sorte que la distance de leurs centres soit précisément égale à la circonférence de chacune d'elles. Une courroie ou chaîne sans fin embrasse les roues A et B sur la moitié de leur contour et les relie l'une à l'autre; à cette chaîne sont fixées trois goupilles, *b*, *b*, *b*, à des distances égales entre elles et par suite égales à la circonférence des roues. Si maintenant la roue A est mise en mouvement par un des instruments dont il s'agit d'enregistrer les indications, ce mouvement se transmettra à la chaîne sans fin et à la roue B. Dans chaque phase du mouvement, il y aura toujours une des trois goupilles qui se déplacera le long de l'échelle *P P*, tracée au-dessous d'une des deux parties rectilignes de la chaîne; pour une révolution complète de A, la goupille parcourra l'échelle entière, et lorsque, le mouvement continuant, elle quittera l'échelle près de B, la goupille suivante viendra immédiatement, près de A, la remplacer sur l'échelle.

Cette disposition si simple me paraît satisfaire à toutes les exigences, tant pour l'enregistrement d'un mouvement circulaire continu, tel que celui au quel conduit la mesured e la vitesse du vent ou de la quantité de pluie, que pour l'enregistrement d'un mouvement circulaire plus ou moins alternatif, comme est celui de la girouette.

Passons maintenant à la description de l'appareil d'enregistre-

ment, et occupons-nous, en premier lieu, de la partie de cet appareil qui se trouve à l'observatoire solitaire.

Le levier A, fig. III, est mis en mouvement par un baromètre, le levier B par un thermomètre métallique, le levier C par un

Fig. III.

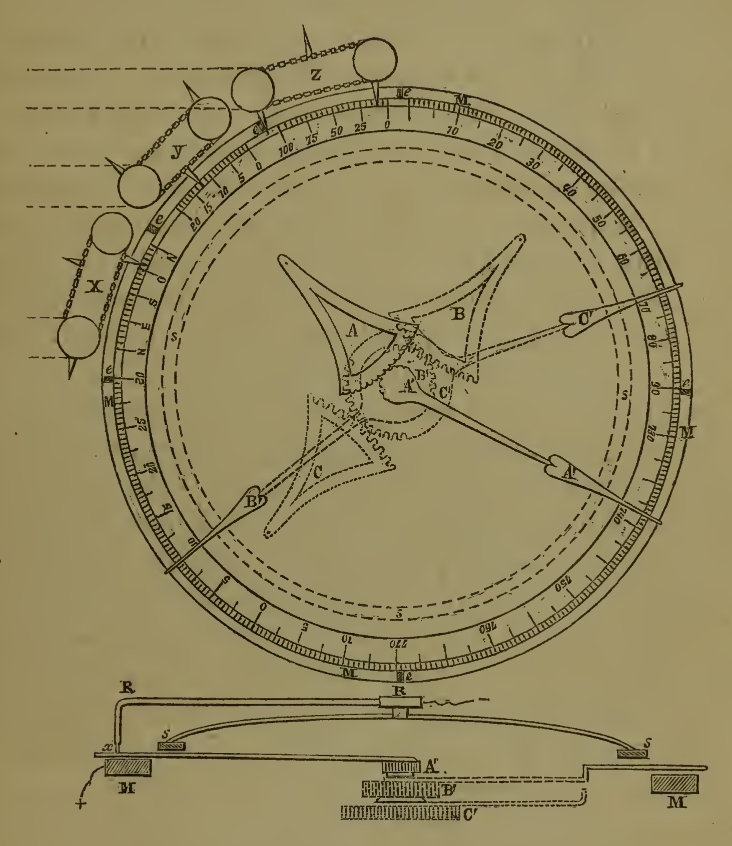


Fig. III*b*.

hygromètre; chacun d'eux transmet son mouvement à une roue spéciale, A′, B′, C′, à laquelle est fixée l'aiguille de l'instrument. Comme le montre la coupe, fig. III *b*, ces leviers et ces roues dentées ne sont pas situés dans le même plan, mais placés l'un au-dessus de l'autre, de façon que les roues tournent autour d'un axe commun, tout en étant, du reste, parfaitement indépendantes

l'une de l'autre. Les extrémités des aiguilles, toutefois, doivent se mouvoir dans un seul et même plan, en rasant de très près, bien que tout à fait libres, le limbe divisé M M M M; pour être amenées dans cette position, les aiguilles de deux des instruments reçoivent une forme coudée. Les aiguilles, ou du moins leurs extrémités, qui se terminent par une petite tige mince, sont en ébonite, substance qui ne conduit pas l'électricité. Chacune des aiguilles, enfin, lors de ses plus grandes excursions, se meut seulement dans l'étendue d'un quart de cercle, de manière à ne jamais venir en contact avec une des autres aiguilles. Trois des quadrants étant affectés au baromètre, au thermomètre et à l'hygromètre, j'emploie le quatrième pour les indications, transformées comme il a été dit ci-dessus, de la girouette, X, de l'anémomètre, Y et du pluviomètre, Z. Les goupilles, qui servent à l'enregistrement de ces indications, sont également en ébonite, et peuvent glisser à frottement dur sur leur échelle, attendu qu'il y a, dans les trois instruments en question, une surabondance de force motrice.

Pour la girouette, qui par ses oscillations brusques et étendues pourrait parfois mettre en danger la languette d'or dont il sera parlé tout à l'heure, je propose même de faire passer sur les deux roues, au lieu d'une chaîne ou courroie ordinaire, une courroie en caoutchouc tendue, afin d'amortir l'intensité des chocs.

Le limbe divisé M M M M peut être fait de métal ou de toute autre matière, mais son bord extérieur doit être en platine ou en laiton chargé d'une dorure épaisse, parce que sur cette partie se produiront les passages et les ruptures du courant galvanique, et qu'il faut en conséquence la préserver de l'oxydation.

En face du limbe gradué se trouve une horloge, dont notre figure III *b* représente seulement l'aiguille des minutes, R R, qui a son axe sur le prolongement de l'axe autour duquel tournent les aiguilles des instruments. Cette aiguille des minutes est en métal et porte à son extrémité une languette d'or x, qui glisse sur le bord extérieur, en platine ou en laiton doré, du limbe divisé. Ce bord étant relié par un fil conducteur au pôle positif d'une pile, dont le pôle négatif communique de la même manière

avec l'aiguille des minutes, le courant passera aussi longtemps que la languette d'or restera en contact avec le limbe; à la rencontre de la languette avec l'aiguille d'un des instruments, le courant sera momentanément interrompu par l'interposition de la petite tige d'ébonite, mais il se rétablira dès que la languette aura franchi cet obstacle.

Lorsque l'aiguille des minutes aura parcouru le limbe entier, c'est-à-dire, après une heure de temps, le courant aura donc subi, dans l'exemple que nous avons choisi, six interruptions momentanées. Ces interruptions peuvent maintenant être utilisées à l'observatoire central, qui communique par un fil télégraphique avec l'observatoire solitaire, pour inscrire les indications des instruments sur un cylindre recouvert d'une feuille de papier, auquel une horloge fait faire un tour sur son axe dans l'espace d'une heure, et dont le mouvement de rotation est par conséquent isochrone avec celui de l'aiguille des minutes de l'observatoire solitaire.

Cet isochronisme des deux mouvements est la condition dont dépend l'exactitude de mon météorographe; pour pouvoir juger si elle est remplie, on fixe sur le limbe divisé, en quelques points déterminés *e*, *e*, *e*, *e*, *e*, *e*, de petites plaques d'ébonite; nous verrons plus loin comment ces plaques donnent les informations voulues sur la marche de l'horloge de l'observatoire solitaire.

Le cylindre enregistreur de la station centrale, fig. IV, tourne, comme il a été dit, autour de son axe; mais cet axe est taillé en vis et se meut dans un écrou *p*, de sorte qu'à chaque révolution le cylindre descend d'une petite quantité, par exemple de un millimètre.

A côté du cylindre se trouve une bobine A, dont l'aimant temporaire agit sur un morceau de fer doux *b b*, mobile autour de l'axe *d* et muni d'un style (crayon, pointe en acier ou en diamant) qu'un ressort *m* tend à appuyer contre le cylindre. Tant que le circuit est fermé, le style est retenu à distance du cylindre; mais à chaque interruption du courant dans l'observatoire solitaire, le style vient presser sur la surface du cylindre et y marquer un point ou un trait; l'instant d'après, quand le courant est rétabli, le style

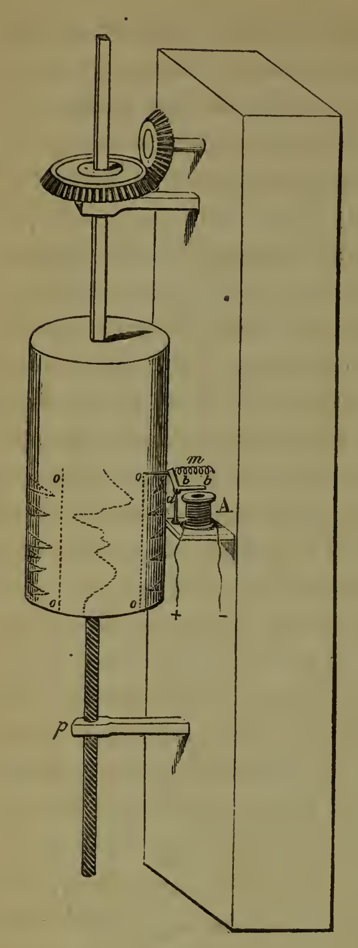


Fig. IV.

se détache de nouveau sous l'action de l'aimant[1]).

Un coup d'œil sur la figure IV, suffira pour la parfaite intelligence de ce système. Les lignes droites *o*, *o*, *o*, *o*, fournissent le contrôle de la marche isochrone des deux horloges, et sont obtenus en joignant une suite de points ou de traits, produits par les interruptions du courant sur les petites plaques d'ébonite incrustées dans le limbe divisé de l'appareil établi à l'observatoire solitaire. Si l'horloge de cette station a une marche plus rapide ou plus lente que l'horloge de la station principale, ces lignes ne

---

[1]) Au moment où mon travail allait être imprimé, j'ai reçu une brochure de M. F. van Rysselberghe, professeur à l'Ecole navale d'Ostende: *Notice sur un système météorographique universel* (extrait des *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 2e Série, t. XXXVI, nos 9 et 10, 1873.) Le météorographe décrit dans ce travail, et dont, sous beaucoup de rapports, les combinaisons me semblent pratiques, repose sur de tout autres principes que le mien; le courant y passe, comme dans le météorographe de M. Wheatstone, par les instruments mêmes, disposition que je regarde comme une source d'erreurs, et que j'ai par conséquent entièrement évitée dans mon appareil. Quant à la manière de faire opérer l'enregistrement, non par un crayon sur une feuille de papier, mais par une aiguille d'acier (mieux encore par une pointe en diamant) sur une feuille de cuivre couverte de vernis de graveur, je la trouve très ingénieuse, parce que la feuille de cuivre, après avoir été passée à l'eau-forte, peut servir à tirer un nombre indéfini d'épreuves, propres à être communiquées aux autres observatoires.

seront plus parallèles à l'axe du cylindre, mais obliques; en cas de marche irrégulière, elles pourront même se présenter avec des sinuosités. On est donc continuellement averti de l'état des choses, et s'il n'y a pas moyen d'atteindre l'observatoire solitaire, on peut mettre la marche de l'horloge principale d'accord avec la marche défectueuse de l'horloge inaccessible, en tenant compte, bien entendu, des corrections que cette altération rend nécessaires.

De l'avis de notre célèbre fabricant de chronomètres, M. A. Hohwu, que j'ai consulté à ce sujet, la construction d'une horloge pouvant marcher toute une année sans qu'on ait besoin de la remonter, n'offre aucune difficulté. L'observatoire solitaire, dont je viens d'esquisser les dispositions essentielles, pourrait donc fonctionner d'une manière permanente même sur ces pics escarpés dont l'ascension n'est possible que pendant une couple de mois d'été. Un fil télégraphique, reliant le poste isolé à la station principale, voilà tout ce qui est nécessaire pour que ces observations lointaines s'enregistrent régulièrement.

Nous avons parlé jusqu'ici de deux horloges indépendantes l'une de l'autre, placées aux deux stations et dont les mouvements doivent être isochrones; mais quiconque n'est pas étranger aux progrès réalisés dans la construction des télégraphes et des horloges électriques, comprendra que l'aiguille des minutes de l'observatoire solitaire pourrait aussi être mue télégraphiquement, son mouvement étant réglé par la même horloge qui, à la station principale, fait tourner le cylindre. Pour cela, toutefois, un second fil télégraphique serait nécessaire, ce qui augmenterait inutilement les frais d'établissement de l'observatoire solitaire.

Mais, en adoptant une autre disposition, je crois que le même fil pourrait servir aussi bien à mouvoir l'aiguille (que nous continuerons d'appeler „aiguille des minutes", bien que dans cette nouvelle disposition elle ne mérite plus ce nom) qu'à transmettre les indications des instruments. Nous avons admis jusqu'ici que l'aiguille des minutes accomplit sa révolution, comme dans les horloges ordinaires, en une heure de temps, de sorte que, suivant

l'état des instruments, l'indication du baromètre est inscrite, par exemple, à 12 h. 10 m., celle du thermomètre, qui a lieu dans le quadrant suivant, à 12 h. 28 m., celle de l'hygromètre encore un quart d'heure plus tard, et celles de la direction du vent, de la vitesse du vent et de la quantité de pluie dans le quatrième quart d'heure. Or, une pareille différence ne serait pas du goût des météorologistes, qui préfèrent l'observation simultanée de tous les instruments, afin d'avoir ainsi, à un moment donné, le tableau complet de l'état de l'atmosphère. Au congrès météorologique de Vienne, en 1873, on a même émis le vœu que les observations eussent lieu au même instant dans les observatoires du monde entier.

En conséquence, au lieu de faire tourner l'aiguille des minutes à l'observatoire solitaire et le cylindre à la station centrale dans l'espace d'une heure, je propose de leur faire exécuter leur révolution, — une fois par heure ou par fraction d'heure, suivant que le météorologiste demande des observations plus ou moins rapprochées, — en une durée très courte, de quelques minutes tout au plus, l'aiguille et le cylindre restant au repos tout le reste de l'heure. Pendant ce repos, le courant sera employé, à l'observatoire solitaire, à élever un poids ou à tendre un ressort, dont la force soit simplement suffisante pour faire accomplir une rotation à l'aiguille. Une fois par heure, l'horloge de la station principale dégage donc à l'observatoire solitaire, au moyen du courant galvanique, l'ancre ou l'encliquetage qui retenait l'aiguille des minutes; celle-ci, sous l'action du poids ou du ressort moteur, régularisée à l'aide d'un pendule, se met alors en mouvement, de manière à exécuter une révolution en 2 ou 3 minutes; et en même temps, à la station principale, un mouvement isochrone avec celui de l'aiguille est communiqué au cylindre. Pendant cette révolution, le courant galvanique est donc employé uniquement à transmettre, de la façon décrite ci-dessus, les indications des instruments. La révolution achevée, l'aiguille des minutes retombe en arrêt, et le courant va alors agir sur une ancre et mettre en mouvement le rouage destiné à élever le poids ou à tendre le ressort, pour cesser cette action aussitôt que l'heure est écoulée et que l'aiguille doit recommencer sa révolution.

Dans quelques essais préliminaires, ayant pour but de contrôler jusqu'à un certain point la valeur du principe adopté, j'ai rencontré une difficulté qui m'a obligé à faire une petite addition à mon appareil.

L'aiguille du baromètre anéroïde ne peut vaincre qu'un frottement très faible, et un attouchement même léger suffit pour la déranger de sa position d'équilibre. Il en est de même de l'hygromètre à cheveu; quant au thermomètre métallique, il est beaucoup moins sensible sous ce rapport, surtout celui du Dr. Krecke, qui depuis longtemps fonctionne avec un plein succès à l'observatoire d'Utrecht et y enregistre automatiquement les observations, au moyen d'un crayon, sur un papier mu par un mécanisme d'horlogerie [1]).

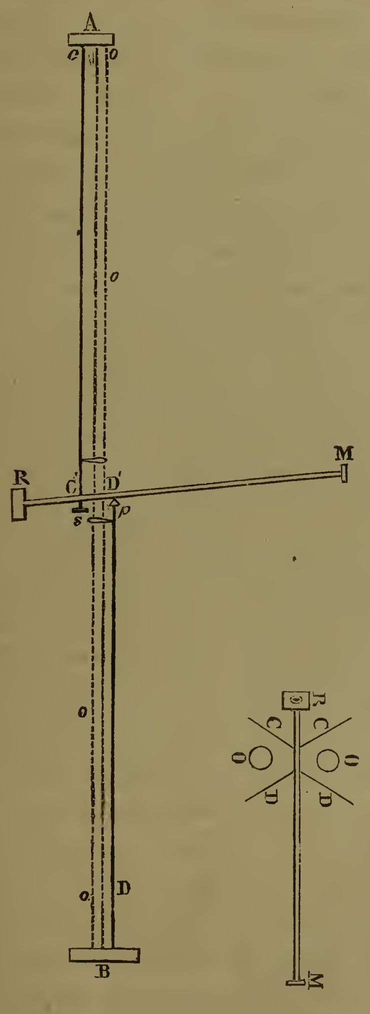


Fig. V. Fig. VI.

[1]) Comme, à ma connaissance, le thermomètre métallique de M. Krecke n'a pas encore été décrit, et que, tant par sa simplicité et son exactitude que par la facilité avec laquelle il se prête à l'enregistrement automatique, il mérite de trouver une application plus générale dans les observatoires météorologiques, je crois devoir communiquer ici le principe de sa construction.

Deux tubes de verre o o (fig. V), longs d'environ 1½ mètres et larges d'environ 3 centimètres, relient deux abouts en fer A et B, dont l'inférieur B est solidement fixé à un mur, tandis que le supérieur A y est également attaché, mais de manière à permettre un léger déplacement. A la pièce A est fixée une lame

Ainsi que je l'ai dit plus haut, les aiguilles de ces instruments ne doivent pas glisser sur la surface même du limbe divisé, mais se mouvoir librement à une petite distance. Comme, d'un autre côté, la languette de l'aiguille des minutes, — si l'on veut qu'elle conserve un contact parfait avec le bord métallique, pendant plusieurs mois, sans nettoyage des surfaces, — ne doit pas être trop faible; elle pourrait facilement, en glissant sur l'extrémité des aiguilles du baromètre anéroïde et de l'hygromètre, les entraîner plus ou moins loin, d'où résulterait une indication fausse de ces instruments. Pour parer à cette cause de trouble, le même mécanisme, qui produit l'échappement de l'aiguille des minutes, abaissera doucement un anneau finement cannelé *s s s*, fig. III et fig. III*b*. qui pressera sur le limbe divisé les aiguiles des instruments et les y maintiendra immobiles pendant la courte durée de la révolution de l'aiguille, de manière que la languette d'or pourra glisser sur leurs bouts en ébonite sans risquer de les déplacer. En même temps que l'aiguille des

de zinc CC′, et à la pièce B pareillement une lame de zinc DD′; sur le reste de leur étendue ces deux lames sont entièrement libres, mais, pour les empêcher de fléchir, elles sont pourvues près de leur extrémité libre d'une couple d'anneaux, qui glissent, *sans frottement sensible*, sur les tubes de verre o o. Pour que les lames de zinc prennent rapidement la température de l'air, il ne faut point qu'elles soient trop épaisses, et pourtant elles doivent présenter une rigidité suffisante. Ce dernier but est atteint par la forme donnée aux lames, qui sont pliées en gouttière sur toute leur longueur, comme le montre la fig. VI. A l'extrémité libre de la lame DD′ est adapté un support en acier *p*, sur lequel repose le levier en laiton R M, à peu près comme dans une balance; les bras D′M et D′R de ce levier sont très inégaux. En R le levier porte un contre-poids mobile, dont la distance à D′ est réglée de façon que le bras D′M n'ait qu'un léger excès de pesanteur. En outre, le levier est traversé en *s* par une vis, dont la pointe, dirigée vers le haut, appuie contre l'extrémité inférieure et libre de la lame de zinc CC′; à l'aide de cette vis, la position du levier peut être changée, de manière à placer plus haut ou plus bas le crayon dont il est muni à son extrémité M.

Le fonctionnement de cet appareil est facile à comprendre. Lorsque la température monte, les lames de zinc se dilatent d'une quantité qui est à peu près égale à 4 fois la dilatation du verre, le point d'appui D′ s'élève, tandis que le point d'appui C′ s'abaisse; le levier tourne donc plus ou moins, autour d'un point situé entre C′ et D′, et le crayon M est entraîné vers le haut. Lorsque la température est décroissante, l'effet contraire se produit.

minutes est arrêtée, l'anneau sera relevé et les aiguilles des instruments recouvreront la liberté de leurs mouvements.

L'immobilisation des aiguilles des instruments, pendant une couple de minutes, n'a absolument aucun inconvénient, attendu qu'en une durée si courte les instruments ne peuvent éprouver que des variations insensibles.

Pour les aiguilles qui marquent la direction du vent, la vitesse du vent et la quantité de pluie, une pareille disposition serait sans objet, attendu que la force motrice est ici très grande et que les tiges d'ébonite, ainsi que nous l'avons fait remarquer, peuvent frotter sur le limbe.

Le problème qui consiste à enregistrer les indications d'instruments météorologiques placés à une grande distance de l'observateur (ou à une hauteur considérable) trouve donc dans mon appareil, si je ne me trompe, une solution très complète. Pour ce qui regarde, toutefois, l'état hygrométrique de l'air, je crois encore aujourd'hui, comme il y a vingt ans, que le psychromètre d'August, l'hygromètre à cheveu ou à boyau et l'hygromètre à point de rosée de Daniell peuvent bien fournir à ce sujet des indications plus ou moins approchées, mais qu'une détermination en poids de la quantité d'eau contenue dans un volume connu d'air est le seul moyen d'obtenir des données exactes. Mon aréomètre hygrométrique, ainsi que je l'ai montré ailleurs [1]), exécute cette détermination d'une manière très simple, et en permet aussi l'enregistrement autographique. Rien ne s'oppose à ce que, au moyen d'un aspirateur et d'un tube en caoutchouc, on aille chercher l'air d'un point très éloigné, pour le faire passer par l'aréomètre établi dans la station principale. Comme l'observatoire solitaire doit déjà communiquer avec cette station par un fil conducteur, celui-ci pourra être placé à l'intérieur du tube de caoutchouc, qui lui servira ainsi d'enveloppe isolante et protectrice. L'observation ne se trouverait en défaut que si l'air du poste éloigné était saturé de vapeur d'eau, à une température plus élevée que celle qui régnerait en

---

[1]) *Archives Néerlandaises*, T. VI, p. 419, *Ann. de Poggend.* T. XCIII, p. 343.

l'un ou l'autre point du trajet parcouru par le tube de caoutchouc, dans ce cas, en effet, une partie de la vapeur d'eau se condenserait dans le tube et par conséquent n'atteindrait pas l'aréomètre. Mais, en général, cela sera peu à craindre, parce que la température de l'air décroît ordinairement à mesure qu'on s'élève au-dessus de la surface terrestre; l'existence d'une couche humide et chaude, superposée à une couche plus froide, ne se présentera sans doute qu'à titre exceptionnel.

Avant de terminer, je dois encore dire un mot touchant le cas où l'on voudrait recourir à un ballon captif pour porter l'observatoire solitaire dans les couches élevées de l'atmosphère et l'y maintenir plus ou moins longtemps.

L'appareil que j'ai proposé est parfaitement approprié à cette destination et n'exige que deux fils conducteurs dans le câble qui retient le ballon captif.

On objectera sans doute que le ballon, perdant rapidement son gaz, tant par des fuites que par la diffusion, ne pourrait pas se soutenir dans l'atmosphère pendant plus d'une couple de jours; mais cette difficulté me paraît susceptible d'être levée d'une manière très élémentaire. Les deux fils conducteurs, qui accompagnent le câble, doivent rester isolés l'un de l'autre; or quoi de plus simple, — la question de l'augmentation de poids du câble étant réservée, — que de réaliser cet isolement en plaçant chaque fil dans un tube de caoutchouc, auquel il serait fixé de distance en distance? Un de ces tubes pourrait alors servir à envoyer au ballon un courant continu d'hydrogène ou de gaz d'éclairage, pour réparer ses pertes, tandis que l'autre tube livrerait passage à l'air atmosphérique qui, à l'appel d'un aspirateur, descendrait des hautes régions jusqu'à l'aréomètre hygrométrique. Ainsi nourri, le ballon pourrait continuer à planer dans l'air, jusqu'à ce que l'imminence d'une bourrasque, annoncée par les observations, forcerait à le faire descendre.

Mais il y a une autre objection, à laquelle je ne vois jusqu'ici aucune réponse satisfaisante à faire, savoir, l'impossibilité de maintenir le ballon captif à une même hauteur, surtout lorsqu'il règne un vent un peu fort, qui, chassant le ballon, tend à donner au câble une direction de plus en plus oblique. En pareil cas, l'indication du baromètre n'a d'autre utilité que de faire connaître approximativement la hauteur à laquelle les instruments se trouvent au-dessus du niveau du sol, et il reste entièrement incertain si les variations barométriques observées proviennent de différences dans la hauteur du ballon, ou de différences dans la pression de l'air à une même hauteur.

Je laisse à d'autres le soin de décider si, en donnant au ballon une forme spéciale, on ne pourrait pas tirer un certain parti du principe sur lequel repose le cerf-volant, savoir, l'ascension de l'appareil sous l'impulsion du vent agissant sur une surface oblique.

L'emploi des ballons captifs offre toutefois un défaut grave: la hauteur à laquelle ils peuvent être élevés est très restreinte, de 1000 mètres tout au plus, parce que, sans parler de beaucoup d'autres difficultés, le poids du cable devient bientôt si grand, que l'aérostat, pour être en état de le porter, doit recevoir des dimensions trop considérables. Mais on pourrait se procurer des observations météorologiques recueillies à des hauteurs beaucoup plus grandes, de 5 à 10 mille mètres par exemple, en ayant recours à notre observatoire solitaire sans transmission. Par son prix relativement modéré et son faible poids, cet appareil serait en effet très propre à être attaché à un ballon de petite dimension, qu'on laisserait monter librement dans l'atmosphère. En supposant même que, sur dix ballons ainsi abandonnés à eux-mêmes, un ou deux allassent tomber en mer ou dans des lieux inhabités et fussent ainsi totalement perdus, les frais de l'expérience n'en seraient pas moins très inférieurs à ceux qu'entraîne l'ascension d'un grand aérostat monté par des observateurs. Le baromètre enregistreur donnerait alors les hauteurs auxquelles ont eu lieu, aux divers instants du voyage, les indications des instruments affectés à la température, à l'état hygrométrique, etc.,

tandis qu'une boussole, dont la marche s'inscrirait automatiquement, de la manière ci-dessus décrite, ferait connaître la direction suivie successivement par le ballon dans les différentes couches atmosphériques qu'il aurait parcourues. Il va sans dire que, pour cette destination, l'observatoire solitaire devrait être protégé par une enveloppe élastique, capable d'amortir le choc au moment où le ballon viendrait toucher la terre. Un écrit, fixé sur le météorographe, contiendrait, traduite en plusieurs langues, la recommandation de ne pas ouvrir l'appareil, mais de l'expédier intact à une adresse déterminée; en outre, par des avis insérés dans les journaux étrangers les plus répandus, on tâcherait de faire comprendre à tout le monde, autant que possible, la nature et le but de ces objets tombés du ciel. Cette double précaution contribuerait sans doute beaucoup à dépouiller l'idée du caractère peu pratique qu'elle semble présenter au premier abord.

SUR LA SCAPHOCÉPHALIE,

PAR

T. ZAAIJER.

Le nom de *scaphocephalus* a été donné par M. K. E. von Baer à une anomalie particulière du crâne, dont le mode de production n'est pas encore complètement expliqué. Ce qui caractérise essentiellement ces crânes, c'est qu'ils sont très étroits et comme comprimés des deux côtés. Vers le haut ils deviennent de plus en plus étroits, de sorte que le sommet ne présente pas une surface plus ou moins voûtée, mais une carène. Ils sont en même temps considérablement allongés, et la carène se prolonge en se courbant vers l'arrière et le bas, de sorte que le crâne entier, vu d'en haut, ressemble beaucoup à un bateau renversé, fortement courbé. L'occiput fait toujours saillie; quelquefois le front s'avance plus que la face; il est alors, toutefois, moins large que dans les cas d'*hydrocéphale.* La suture sagittale et les bosses pariétales manquent ordinairement tout à fait.

Blumenbach est le premier qui a décrit et figuré un pareil crâne, désigné par lui sous le nom de *Cranium asiatae macrocephali* [1]. Ce crâne lui avait été donné, en 1777, par le baron De Asch, chef du service médical de l'armée russe, et il était *probablement* d'origine tartare. La grande longueur de cette pièce est sans doute ce qui a porté Blumenbach à lui appliquer l'épithète

[1]) *Decas collectionis suae craniorum diversarum gentium*, 1790, p. 17, tab. III.

de *macrocephalus;* chez différents auteurs anciens on trouve déjà, en effet, le nom de *Makrokephaloi* (longues-têtes) [1]). De la courte description, donnée par Blumenbach, il résulte que ce crâne offre une carène bien prononcée, que la suture sagittale y fait défaut, tandis que les sutures coronale et lambdoïde y existent, et qu'en outre la portion occipitale est allongée et pendante. L'état des dents montre qu'il provient d'un individu jeune. — Il n'y a pas de doute que ce crâne ne soit scaphocéphale, ce qui a d'ailleurs été confirmé par l'étude directe qu'en ont faite d'abord M. von Baer et ensuite M. Welcker.

Dans la collection anatomique de l'université de Leide se trouve un crâne qui figure au catalogue sous la désignation de *Cranium Persiani* [2]). L'autorité de Blumenbach a probablement fait tomber dans une grossière erreur le propriétaire antérieur de cette pièce. Sur l'os frontal, en effet, est écrit: *Cranium macrocephali ut videtur asiatae*, et sur la portion écailleuse du temporal gauche: *Conf. Blumenb. Dec. cran.* I, *tab.* 3. — La suture sagittale y est visible en entier. Le crâne montre une carène bien distincte, qui en avant se prolonge jusqu'un peu au-dessus de la racine du nez. M. Barnard Davis, qui a examiné cette pièce lors d'une visite qu'il nous a faite, l'a regardée comme le crâne d'un Esquimau; je me range volontiers à l'avis de cet habile craniologue, avis qui trouve un soutien dans les observations de M. Morton [3]). En tout cas, ce crâne ne présente qu'une analogie très superficielle avec celui de Blumenbach.

M. Virchow [4]) s'est occupé de la synostose des pariétaux par l'ossification de la suture sagittale, et à cette occasion il a remarqué que les changements de forme sont surtout prononcés quand la

---

[1]) Pour plus de détails à ce sujet, je renvoie au Mémoire de M. von Baer (p. 19) dont il sera question plus loin.

[2]) *Museum anatomicum*, t. III, 1827, p. 37; Brugmans, n°. 548.

[3]) *Crania americana*, 1839, p. 247.

[4]) *Ueber den Cretinismus, namentlich in Franken, und über pathologische Schädelformen*, dans *Verhandl. der phys-med. Ges. zu Würzburg*, t. II, p. 230, et *Gesammelte Abhandlungen zur wissenschaftlichen Medicin*, 1856, p. 891.

suture est complètement oblitérée et que l'oblitération a eu lieu de bonne heure. Sur une pièce où ces conditions étaient réalisées, il trouva la voûte du crâne entièrement „carénée, et la région de la suture sagittale offrant à l'extérieur une crête aiguë". A la page 907 est représenté (fig. 13) un crâne vu d'en haut, qui montre une carène bien accusée, avec ossification de la suture sagittale. M. von Baer croit devoir rapporter ce crâne aux scaphocéphales, et je pense que c'est avec raison. Peut-être que le crâne figuré page 906 (fig. 12) y appartient également, mais celui-ci ne présente pas de carène.

Les communications de M. *Minchin* [1]) sont intéressantes à plusieurs titres, tant parce qu'elles ont rapport à des individus très jeunes, que parce que l'auteur a essayé d'expliquer la production de la déformation par l'existence d'un seul point d'ossification pour les deux pariétaux.

La première observation de M. Minchin est relative à un garçon de neuf ans, avec scaphocéphalie des plus apparentes; quatre ans après, ce garçon était encore bien portant et vigoureux, très vif et très intelligent, sans le moindre symptôme pouvant faire soupçonner une affection cérébrale. Des renseignements obtenus postérieurement apprirent que la déformation était congénitale. Un second exemple fut fourni à M. Minchin par le crâne d'un petit garçon de 3½ à 4 ans, qui mourut de la phthisie à la suite d'une rougeole. Cet enfant était d'humeur gaie, et nullement arriéré en fait de développement intellectuel. Dans le *Museum of the royal college of surgeons of Ireland*, M. Minchin a encore trouvé un crâne scaphocéphale adulte, ainsi qu'une voûte crânienne de la même forme.

M. Lucae [2]) a décrit et figuré un crâne scaphocéphale qui avait été donné par Sömmerring au cabinet anatomique de Francfort, et plus tard [3]) il a encore mentionné deux personnes, à lui con-

---

[1]) *Contributions to craniology*, dans *Dublin Quart. Journ. of medicine*, Nov. 1856. M. Barnard Davis a eu l'obligeance de m'envoyer ce Mémoire.

[2]) *Zur Architectur des Menschenschädels*, 1857, p. 16, pl. III.

[3]) *Zur Morphologie der Rassen-schädel*, 1861, p. 53.

nues, dont le crâne présentait cette même anomalie. La première était un homme de plus de soixante ans, très instruit et jouissant d'une excellente mémoire et d'une santé parfaite; la seconde était un garçon de 10—12 ans, au sujet duquel il n'y avait rien de particulier à dire. Quant à la manière dont l'anomalie prend naissance, M. Lucae se déclare ouvertement en faveur de l'explication proposée par M. von Baer.

M. Schade, dans sa dissertation inaugurale [1]), a décrit un crâne scaphocéphale possédant au plus haut degré les caractères propres à cette déviation. Cette pièce avait été donnée à la collection anatomique de Greifswald par M. le Dr. Braumüller, de Stettin, qui dans une lettre, placée en tête du Mémoire de M. Schade, communiqua quelques détails sur la personne dont le crâne provenait. La cause de cette remarquable difformité est cherchée par M. Schade principalement dans l'oblitération précoce de la suture sagittale. Plus loin je reviendrai sur cette pièce, à propos des observations de M. Barnard Davis, qui a traité avec détail le crâne de Greifswald, tandis qu'il n'en a été fait mention ni par M. von Baer, ni par M. Welcker.

M. von Baer [2]) a étudié le crâne *macrocéphale* de Blumenbach, ainsi qu'un autre *scaphocéphale*, conservé dans la collection de Blumenbach, avec l'inscription „*Danus*"; ces deux crânes ont aussi été vus plus tard par M. Welcker. Le troisième crâne, mentionné par M. von Baer, appartient au musée de Bonn et provient d'un Zigeune âgé de 20 ans; sur ce crâne, outre la suture sagittale, les sutures coronale et lambdoïde étaient aussi soudées, de sorte qu'il me reste quelque doute s'il peut bien être ici uniquement question de scaphocéphalie [3]).

---

[1]) *De singulari cranii cujusdam deformitate*, Gryphiae, 1858.

[2]) *Die Makrokephalen im Boden der Krym und Oesterreichs, verglichen mit der Bildungs-Abweichung welche* Blumenbach *Macrocephalus genannt hat*, dans *Mémoires de l'Acad. imp. des Sciences de St. Pétersbourg*, VIIe série, t. II, 1860, p. 73.

[3]) Des renseignements ultérieurs relatifs à ce crâne, qui m'ont été obligeamment fournis par M. le professeur Schaafhausen, de Bonn, ont confirmé ce doute. Le crâne est, en effet, légèrement déprimé dans la région de la suture sagittale,

L'opinion de M. Minchin, concernant l'unité primitive du pariétal, fut adoptée et fortement appuyée par M. von Baer, grâce au Mémoire duquel le travail de M. Minchin acquit une notoriété plus générale.

L'explication à laquelle ces deux savants s'étaient arrêtés a été au contraire combattue par M. Welcker [1]; celui-ci soutient qu'il existe primitivement deux pariétaux séparés, qui se soudent entre eux dès avant la naissance. Nous reviendrons plus loin sur les raisons qui plaident en faveur de cette opinion.

M. Welcker n'avait eu d'abord à sa dispostion que 3 crânes scaphocéphales, savoir, les deux pièces de la collection de Blumenbach et une de la collection de Halle; cette dernière provenait d'une femme à facultés intellectuelles normales, qui était morte à l'âge de 55 ans. Il cite en outre le fait d'un savant de sa connaissance, d'âge moyen, qui possédait un crâne de cette forme.

Plus tard [2], il a encore pu étudier un crâne allemand, paraissant âgé de 25—30 ans, dans la collection de Berlin, ainsi que deux autres dans celle de l'Académie médico-chirurgicale de Dresde, l'un d'un Croate âgé d'au moins 50 ans, l'autre d'un Illyrien dont l'âge présumé était de 30—40 ans.

Dans une première Notice [3], M. Turner a cité 9 crânes scaphocéphales de différentes collections, et postérieurement [4] il a encore fait connaître 2 cas nouveaux. Le premier de ces cas

et ne possède par conséquent pas de carène. Ce que M. von Baer a dit au sujet des sutures n'est pas exact. La suture sagittale est entièrement disparue, et il en est de même de la suture coronale, à l'exception d'une partie située au-dessus de l'aile gauche du sphénoïde; à gauche, la suture mastoïde est presque complétement oblitérée, tandis qu'à droite cette suture est encore entièrement ouverte. Evidemment, on n'a pas affaire ici à un cas de scaphocéphalie.

[1]) *Untersuchungen über Wachsthum und Bau des menschlichen Schädels*, 1ère partie, Leipzig, 1862, p. 118.

[2]) *Ueber zwei seltnere Difformitäten des menschlichen Schädels, Scaphocephalus und Trigonocephalus*, dans *Abhandl. der naturf. Gesellsch. zu Halle*, 1863, p. 147.

[3]) *On cranial deformities, and more especially on the scaphocephalic skull*, dans *Natur. Hist. Review*, Janv. 1864.

[4]) *On some congenital deformities of the human cranium*, dans *Edinburgh med. Journ.*, Juill. et Août 1865.

concernait un jeune Ecossais, à tête longue et à forte crête osseuse dans la région sagittale; aux deux côtés de cette carène le crâne était aplati. L'occiput était très saillant, le front ne se projetait pas en avant. L'anomalie était congénitale. Le jeune homme étudiait et montrait beaucoup d'intelligence.

Le dernier crâne scaphocéphale, examiné par M. Turner, provenait d'une momie égyptienne appartenant au musée d'histoire naturelle d'Edimbourg.

Ce crâne avait déjà été décrit antérieurement par M. Andrew Fyfe [1]), qui l'avait considéré à tort comme présentant la forme caractéristique du crâne égyptien. Sur une partie de la région sagittale, l'os a un aspect plus ou moins rayonné.

M. Thurnam [2]) a mentionné 9 crânes scaphocéphales, existant dans diverses collections et provenant de diverses races. Ces crânes, dans lesquels les caractères propres de la scaphocéphalie sont moins fortement exprimés, et où la soudure des pariétaux ne doit avoir eu lieu qu'après la naissance, sont désignés par l'auteur sous le nom de crânes sub-scaphocéphales.

A M. von Düben [3]) nous devons une revue détaillée et assez exacte des observations connues à cette époque; il y a ajouté la description de 4 nouveaux crânes scaphocéphales, et a cité 3 personnes qui, à sa connaissance, présentaient cette anomalie. Elles la possédaient toutefois, d'après les figures, à un degré moindre que le jeune garçon dont parle M. Minchin, et que l'homme mentionné par M. Calori et dont il sera question plus loin.

M. Förster [4]) a décrit le crâne d'un enfant de 13 jours, qui

---

[1]) *Illustrations of human anatomy*, Edinb., 1814.

[2]) *On synostosis of the cranial bones, especially the parietals, regarded as a race-character in one class of ancient british and in african skulls*, dans *Natur. Hist. Review*, no. 18, 1865, p. 242.

[3]) *Kranier med tidig förbening af pilsömmen (scaphocephali)*, dans *Medicinskt Archiv*, Stockholm, Vol. II, p. 1, 1864; résumé détaillé de deux conférences faites à la Société médicale suédoise, le 2 Sept. 1862 et le 29 Sept. 1863.

[4]) *Congenitale Synostosis mit Dolichocephalus als selbstständiges Leiden*, dans *Jahrb. für Kinderheilk. und physische Erziehung*, t. VII, 1865, p. 66.

avait succombé en présentant des phénomènes de catarrhe intestinal et de consomption. La tête était longue et étroite; les bosses pariétales à peine distinctes; le front assez fortement bombé. La partie la plus élevée de la tête se trouvait immédiatement en arrière de la grande fontanelle, qui était située un peu loin en avant et pénétrait assez profondément dans le frontal. L'occiput faisait une saillie très forte. Dans leur tiers antérieur, les pariétaux, qui du côté de la fontanelle s'avançaient en un bord écailleux, étaient unis par synostose; à 1 centim. en avant de l'extrémité postérieure de la synostose commençait une crête osseuse, qu'on pouvait sentir à travers la peau et qui avait déjà attiré l'attention durant la vie. Cette crête s'élevait rapidement et atteignait bientôt son maximum de hauteur et de largeur. Sur la face interne du crâne on voyait, à la partie postérieure de la synostose, un sillon profond; les bords par lesquels les pariétaux se correspondaient étaient épaissis aux deux côtés. La suture était plus large en dedans qu'en dehors. Dans leurs parties inférieures les pariétaux étaient plus minces et plus flexibles; ils avaient très peu de mobilité l'un par rapport à l'autre; leur substance osseuse était amplement pourvue de sang. Un os sutural, long de 15 mm. et large de 25 mm., se trouvait entre l'occipital et les deux pariétaux. Au sujet du cerveau, des méninges et des sinus veineux, il est dit qu'ils étaient richement dotés de sang, mais ne présentaient d'ailleurs aucune anomalie. L'examen anatomique n'a pas appris si la dure-mère avait pu exercer une influence quelconque sur la production de la synostose. Les autres parties du cadavre n'offraient rien de particulier.

J'ai exposé un peu en détail les caractères de ce petit crâne, parce que je crois que nous avons affaire ici à une scaphocéphalie en voie de naissance, et parce qu'il n'a été publié aucune autre observation de la difformité à un âge aussi peu avancé.

Une riche collection crâniologique, qui d'après le *Thesaurus craniorum*, publié en 1867, comprend 1500 objets, a mis M. Barnard Davis en état de décrire aussi quelques crânes scaphocé-

phales de peuples étrangers à l'Europe [1]). Le premier est originaire d'un homme de la Nouvelle-Galles du Sud, paraissant âgé d'environ 50 ans. Cet individu faisait partie d'une tribu demeurant près de la rivière Mc-Leay, à environ 200 milles (anglais) au nord de Sydney. M. Davis possède aussi un crâne normal, qui provient d'un homme ayant à peu près le même âge que le précédent et appartenant à la même tribu. Ces deux crânes ont donc pu être comparés entre eux.

Plus tard il a reçu un second crâne scaphocéphale d'Australien; ce crâne, provenant d'un homme d'environ 30 ans, de la colonie Victoria, avait été trouvé, en 1863, dans les branches d'un arbre.

Un troisième crâne a appartenu à un jeune Indien, probablement esclave, paraissant avoir de 10 à 11 ans, et natif des bords de la rivière Columbia, dans l'Amérique N. O. — M. Davis possède encore un crâne scaphocéphale trouvé, il y a quelques années, à une profondeur de 18 pieds, dans des fouilles faites à Clothfair (Londres). Il mentionne aussi, parmi les pièces de sa collection, le crâne d'un Lapon d'environ 30 ans (no. 1146), dans lequel la scaphocéphalie n'est pas fortement accusée, et le crâne incomplet d'un Hindou (selon toute apparence une femme) de Gazepoor, en Bengale. Enfin, il a vu quelques exemples de scaphocéphalie chez des personnes vivantes; l'une de celles-ci était un enfant de 7 mois, bien portant, robuste et intelligent.

Le crâne de Greifswald a été représenté par M. Davis dans trois figures, qui en font nettement ressortir la forme remarquable. Ce crâne provient d'un tisserand de Stettin, en Poméranie, qui était mort d'une pleurésie à l'âge de 38 ans. Le front de cet homme était extrêmement saillant, et tout son aspect inspirait de la répulsion. „Il avait de gros sourcils noirs, confondus entre eux, et une chevelure noire, hérissée, inculte; il ne pouvait regarder le ciel, son occiput venant heurter les vertèbres du cou lorsqu'il voulait relever la tête" (Dr. Brau-

---

[1]) *On synostic crania among aboriginal races of man*, dans *Verhandelingen van de Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen te Haarlem*, t. XXII, 1865.

müller). Il était querelleur et difficile à vivre, en partie à cause des taquineries auxquelles le mettait en butte sa figure étrange. „Personne ne voulait s'asseoir à côté de lui, personne ne voulait avoir le moindre commerce ni surtout jouer avec lui. On le fuyait, on l'excluait, et il se repliait sur lui-même, chagrin et méfiant.''. Jamais, toutefois, il ne donna de signe d'un dérangement des facultés intellectuelles; dans son enfance, il avait appris facilement à lire, écrire et calculer. Les os du crâne étaient minces et légers, les sutures presque toutes oblitérées, la carène bien distincte. Le crâne était asymétrique, le côté droit convexe, le côté gauche légèrement concave.

M. Macalister [1]) a observé la scaphocéphalie chez un jeune homme de 17 ans, qui souffrait continuellement de maux de tête, contre lesquels un traitement médical fut employé avec quelque succès; sa mémoire avait toujours été faible. Le même auteur fait aussi mention d'un homme de 60 ans, qui pouvait passer pour scaphocéphale et qui possédait une mémoire excellente.

M. Calori [2]) est le premier qui ait décrit le cerveau d'un scaphocéphale; ce cerveau était remarquablement long, étroit et élevé, et présentait dans la région sagittale des bords saillants; sa forme correspondait par conséquent à la forme du crâne. Le sujet de l'observation était un garçon de 14 ans, nommé Antonio, d'une intelligence très vive et d'un caractère doux et aimable. Il était né dans la province de Côme, près du Lac Majeur. Sa taille n'était pas grande pour son âge; on lui avait appliqué le sobriquet de *tête-longue*. Il mourut à l'hôpital de Bologne, du typhus abdominal.

Dans un écrit postérieur [3]), M. Calori a aussi décrit le crâne

---

[1]) *British Medical Journal*, 3 Oct. 1868.

[2]) *Del cervello nei due Tipi Brachicefalo e Dolicocefalo Italiani*, 1870. Ce Mémoire ne m'est connu que par une Notice de M. Barnard Davis, dont l'auteur a bien voulu m'envoyer un exemplaire: *Notice of some recent anatomical writings bearing upon anthropology by* Prof. Luigi Calori *of Bologna*, read before the Anthropological Institute, April 3d 1871.

[3]) *Sopra un cranio scafoideo* (*scaphocephalus Baerii*), dans *Memorie dell' academia delle scienze dell' istituto di Bologna*, Série II, t. X, fasc. 3, p. 435.

de ce garçon et en a donné quatre figures. Le crâne était grand et asymétrique; vue d'en haut, la saillie postérieure était plus forte à droite qu'à gauche. En y comprenant la mâchoire inférieure, le poids s'élevait à 500 grammes. La carène se prolongeait en arrière jusque sur la moitié supérieure de l'occipital. Le quart antérieur de la suture sagittale était ouvert, tandis que la partie postérieure paraissait s'être oblitérée la dernière. Sur le tiers moyen de la carène il y avait une légère élévation; en cet endroit on voyait, outre les petits trous pariétaux, un grand nombre de canalicules vasculaires. Cette circonstance pouvait faire naître l'idée qu'il n'avait existé ici qu'un seul point d'ossification pour les deux pariétaux.

M. Calori a encore communiqué un cas de scaphocéphalie offert par un homme de 54 ans, demeurant à Bologne, qui était de temps en temps tourmenté de maux de tête et qui avait eu autrefois des accès de manie religieuse. Cet homme était le troisième de 13 enfants, tous bien conformés et sans aucune anomalie crânienne. A sa naissance il était fort et dispos, et on avait été immédiatement frappé de sa tête longue et étroite. On trouve noté, au sujet de cet homme, qu'il lui était possible de regarder le ciel. En palpant la tête, on pouvait sentir les sutures coronale et lambdoïde, mais non la suture sagittale; le long de cette dernière on remarquait la carène, qui toutefois ne s'étendait pas aussi loin en avant que chez Antonio.

La relation de M. Calori est accompagnée d'un portrait en profil, de demi-grandeur naturelle; j'ai fait reproduire ce portrait sur la Pl. IV, fig. 2, à $\frac{1}{3}$ de la grandeur naturelle.

Grâce à M. le Dr. A. H. van Andel, médecin en chef de la maison d'aliénés de Zutfen, auquel je témoigne ici toute ma reconnaissance, je suis à même de donner, à la suite des faits qui viennent d'être rappelés, la description d'un crâne scapho-

céphale conservé dans la collection de l'établissement susdit [1]). Aucun détail n'a pu m'être communiqué au sujet de l'individu à qui ce crâne a appartenu. La pièce avait été cédée, il y a déjà longtemps, par le professeur Miquel au Dr. Ramaer, alors médecin en chef de la maison d'aliénés de Zutfen, et celui-ci l'avait placée dans la collection confiée à ses soins. La mâchoire inférieure manque à cette pièce.

Le crâne est long et étroit; la partie inférieure du frontal présente une direction presque verticale. L'occiput est refoulé en bas et en arrière. Il y a un léger degré d'asymétrie. Le pariétal gauche fait une plus forte saillie au-dessus de la suture écailleuse que le pariétal droit; il en est de même de la moitié gauche de la lame de l'occipital.

A l'exception de la suture sagittale, sur laquelle nous reviendrons plus loin, aucune des sutures du crâne, pas plus dans sa partie cérébrale que dans sa partie faciale, n'est oblitérée. La suture incisive existe distinctement aux deux côtés du trou incisif. La suture infra-orbitaire étend de part et d'autre son cours sinueux, depuis l'extrémité du sillon infra-orbitaire jusqu'au trou infra-orbitaire [2]). Les dernières dents molaires n'ont pas encore percé.

Les dents incisives, les canines et les premières molaires sont perdues aux deux côtés. Au côté externe de la seconde molaire gauche se trouve un alvéole surnuméraire, qui n'a été occupé que par une seule racine. Je crois pouvoir le regarder comme l'alvéole de la canine permanente, attendu que la cavité, qui correspond à cette dent dans la série normale, est beaucoup plus étroite et plus courte qu'à l'autre côté, de sorte qu'elle a très probablement logé la canine temporaire; de pareils déplacements paraissent d'ail-

---

[1]) Toutes les peines que je me suis données pour découvrir d'autres spécimens sont restées sans résultat. Aucune des collections crâniologiques de notre pays, soit publiques soit privées (pour autant que ces dernières me sont connues), ne possède de crâne scaphocéphale. Je saisis cette occasion de remercier les personnes qui ont bien voulu m'aider dans mes recherches.

[2]) Voir: Halbertsma, *De Sutura infra-orbitalis*, dans *Verslagen en Mededeelingen der Koninklijke Akad. van Wetenschappen te Amsterdam*, *Afd. Natuurk.*, t. IX, p. 177.

leurs être beaucoup plus fréquents pour les canines permanentes que pour les autres dents. C'est du moins ce qu'on observe dans les pièces de ce genre qui font partie de la collection de Leide.

A chacun des deux os zygomatiques se voit un processus marginal [1]; à droite cette apophyse est plus longue qu'à gauche.

Après ces détails sur la portion faciale du crâne, je passe à ce qui concerne la portion cérébrale.

La suture lambdoïde possède des dentelures engrenées profondément les unes dans les autres; sa partie supérieure ne forme pas un angle aigu, comme dans les crânes normaux, mais est à peu près horizontale. Aux deux côtés se trouve, à 13 mm. de la partie inférieure de la suture, un os sutural (os wormien). Au côté droit cet os a une longueur de 11 mm. et une largeur de 5 mm.; l'os de gauche est long de 18 mm. et large de 10 mm. [2]).

Un autre os sutural se voit à gauche entre la portion écailleuse du temporal, l'angle sphénoïdien du pariétal et la grande aile du sphenoïde; sa longueur est de 22 mm., et sa plus grande largeur de 13 mm. A droite, à la même place, il y a un os semblable, long de 31 mm. et large de 12 mm., et en outre toute la suture sphéno-frontale est occupée, à ce côté, par un os sutural large de 3—5 mm.

En son milieu, où elle montre une convexité tournée en avant, la suture coronale est presque dépourvue de dentelures; sur les côtés, elle présente les dentelures normales. De la suture frontale, une petite partie, au-dessus de la racine du nez, est restée ouverte sur une longueur de 5 mm.

La synchondrose sphéno-occipitale n'est pas ossifiée. La longueur des apophyses mastoïdes, au-dessous de la rainure mastoïdienne, est peu considérable et ne s'élève qu'à 7 mm.

A chaque côté se voient, dans la portion mastoïdienne du temporal, deux trous mastoïdiens de grandeur inégale.

---

[1]) Voir: Luschska, *Der Processus marginalis des menschlichen Jochbeins*, dans *Archiv von* Reichert *und* Du Rois-Reymond, année 1869, p. 326.

[2]) Le crâne adulte décrit par M. Minchin possède un os sutural à la même place; il en est de même du crâne d'Antonio.

De quelques-unes des particularités qui viennent d'être communiquées, je crois pouvoir conclure que le crâne provient probablement d'un individu âgé d'environ 17 ans. En effet, les secondes molaires apparaissent généralement de la 13ième à la 16ième année, et il n'y pas de raison d'admettre que la modification subie par la forme du crâne ait exercé de l'influence sur la sortie des dents. L'état de la synchondrose sphéno-occipitale ne doit toutefois pas être perdue de vue dans la détermination de l'âge du crâne. D'après M. Virchow [1]), l'ossification commence en ce point à l'âge de 13—14 ans, et c'est ordinairement de la 18ième à la 20ième année que paraît avoir lieu la synostose complète entre l'occipital et le sphénoïde. M. Welcker [2]) a déduit de ses observations que cette synostose se fait à l'âge de 16—20 ans. Si ces données sont exactes, l'âge de notre crâne devrait donc être estimé plus bas, puisqu'on n'y remarque pas même un commencement d'ossification. Je crois toutefois devoir admettre ici que l'existence prolongée de la synchondrose en question est liée à l'accroissement longitudinal excessif du crâne, en d'autres termes, que la production de la synostose a été retardée par cette circonstance.

Le faible développement des apophyses mastoïdes plaide aussi en faveur de l'âge peu avancé du crâne.

Il m'est impossible de dire, avec quelque probabilité, si nous avons affaire ici a un crâne masculin ou féminin. La solution de cette question est toujours extrêmement difficile lorsqu'il s'agit de pièces jeunes. La grandeur et la capacité me font, il est vrai, présumer que notre crâne provient d'un individu mâle; mais ce n'est là qu'une simple conjecture.

J'arrive maintenant aux particularités qu'on peut observer à la voûte du crâne et que je décrirai avec quelque détail.

Les bosses pariétales manquent. La suture sagittale est entièrement ossifiée. Il y a toutefois un petit sillon superficiel qui, à partir du milieu de la suture coronale, s'étend en arrière sur

---

[1]) *Untersuchungen über die Entwickelung des Schädelgrundes*, 1857, p. 17.

[2]) *Wachsthum und Bau des menschlichen Schädels*, p. 86.

une longueur de 25 mm.; je crois devoir le regarder comme un reste de la suture sagittale. La partie médiane de l'ensemble formé par les deux pariétaux s'avance plus que les parties latérales, d'où résulte la forme particulière de la suture coronale, qui a été mentionnée ci-dessus. Presque tout le domaine de la grande fontanelle paraît avoir été annexé par les pariétaux (*Schnebbe* de Virchow). La région de la grande fontanelle et la partie du frontal qui est située au-devant d'elle font saillie vers le haut.

Il y a une carène bien distincte; elle est le mieux prononcée à environ 6 cm. derrière la suture coronale, et s'abaisse en avant et en arrière.

La surface des pariétaux est rugueuse au milieu; cette partie rugueuse comprend les deux tiers postérieurs des os en question, et s'étend de chaque côté jusqu'à environ 5 cm. du plan médian. Vers le milieu de la suture sagittale, là où se trouve une légère saillie, on voit un grand nombre de petites ouvertures, dont les plus grandes ont un diamètre de plus de 1 mm. Plus en arrière il y a également beaucoup de ces trous. Le nombre d'ouvertures de la dimension indiquée s'élève à plus de 40; la plupart pénètrent dans l'os suivant une direction oblique. On voit en outre une foule de trous très petits, surtout plus en avant, à côté de la carène.

Les trous pariétaux proprement dits n'ont pu être découverts. Immédiatement au-dessus de la suture lambdoïde le crâne offre une légère dépression, et au-dessous de cette suture l'occipital montre une saillie.

A la face interne du crâne on remarque ce qui suit:

Les portions orbitaires du frontal et les portions écailleuses des temporaux présentent, fortement accusés, les *juga cerebralia* et les impressions digitées.

Le sillon transversal droit est large de 10 mm.; le sillon gauche n'a que 7 mm. de largeur.

Du milieu de la suture coronale part un petit sillon superficiel, qui se dirige en arrière sur une longueur de 19 mm.; il faut y voir un reste de la suture sagittale.

Les caractères les plus saillants sont ceux du sillon longitu-

dinal, là où il s'étend sur les pariétaux. Dans cette partie, le sillon a 9 mm. de largeur. Il est très profond, surtout dans sa moitié postérieure; à gauche il est bordé par une crête osseuse aiguë, qui est haute de 7 mm. et qui s'abaisse graduellement en avant. A droite, le bord osseux atteint à peine la moitié de la hauteur qui vient d'être indiquée. [1]).

A une distance d'au moins 50 mm. en arrière de la suture coronale commence une fosse irrégulière, large de 17—26 mm., dans laquelle on peut encore poursuivre vaguement la trace du sillon longitudinal. Au bord de cette fosse, ainsi que sur le frontal, on voit en quelques points des signes de détrition, dus probablement à des glandules de Pacchioni agrandies.

Tout près du sillon longitudinal, surtout à la partie antérieure, les pariétaux sont plus épais (8 mm.) que dans les portions qui occupent une position plus latérale (tout au plus 5 mm.).

Le poids du crâne s'élève à 520 grammes; sa capacité est de 1590 centim. cubes.

Voici, exprimés en millimètres, les résultats des mesures que j'ai prises sur ce crâne; ils s'accordent presque exactement avec les mesures données par M. Welcker.

A. Contour horizontal, mesuré en passant sur les bosses frontales et sur la partie la plus saillante de l'occipital. 565

B. Contour horizontal du front 170

C. Arc longitudinal, de la suture naso-frontale jusqu'au bord antérieur du trou occipital. 460

D. Distance de la racine du nez au milieu de la suture coronale 130

E. De ce dernier point jusqu'à la suture lambdoïde (longueur de la suture sagittale) 165

[1]) Blumenbach, et plus tard M. Virchow et M. von Baer, ont également fait mention de la grande profondeur du sillon longitudinal dans les crânes scaphocéphales. Sur le petit crâne d'enfant de M. Forster, il y avait aussi déjà un sillon profond à la partie postérieure de la synostose.

F. De la suture lambdoïde jusqu'au bord antérieur du trou occipital 165
G. Distance entre ce dernier point et la racine du nez, (mesurée au compas) 97
H. Arc transversal, depuis le point situé au-dessus du centre du trou auditif externe, en passant par-dessus le crâne, jusqu'au point correspondant de l'autre côté 290
I. Portion basale du même arc. 116
K. Longueur du crâne, depuis le point situé entre les bosses frontales jusqu'à la partie la plus saillante de l'occiput. 212
L. Largeur du crâne, distance entre les points où A et H se croisent 135
M. Distance des bosses frontales 67
N. Distance des apophyses mastoïdes 95
O. Hauteur du crâne, depuis le bord antérieur du trou occipital jusqu'au point ou G et H se croisent . . . 121
P. Distance des orbites, mesurée entre les pointes des processus naso-orbitaires du frontal, sur le prolongement de la crête de l'os lacrymal 24
Q. Distance des apophyses zygomatiques des temporaux, mesurée à l'extrémité du bord supérieur de l'orbite. 94
R. Distance de la racine du nez au bord alvéolaire de la mâchoire supérieure, entre les incisives moyennes. . 65
S. Distance de ce dernier point au bord antérieur du trou occipital 99

Je terminerai cette communication par quelques remarques auxquelles conduisent le cas de scaphocéphalie que je viens de décrire et ceux qui ont été observés par d'autres.

En premier lieu, on doit reconnaître, — ce qu'avait déjà soupçonné M. Minchin, — que l'anomalie en question n'est pas rare. A ma connaissance, le nombre des observations recueillies s'élève aujourd'hui à 57, savoir; Blumenbach 1 [1]), Virchow 2, Minchin 4,

[1]) MM. Minchin, Turner, von Düben et Macalister pensent que E. Sandifort a été le premier qui ait décrit un crâne scaphocéphale. (*Exercitationes acade-*

Lucae 3, Schade 1, von Baer 1, Welcker 5, Turner 11, Thurnam 9, von Düben 7, Förster 1, Davis 7, Macalister 2, Calori 2, Zaaijer 1. Dans ce nombre, il y a au moins 12 cas où l'anomalie a été observée pendant la vie.

Il est ensuite hors de doute, aujourd'hui, que la difformité est congénitale.

Relativement au garçon de 13 ans, observé par M. Minchin, on trouve noté que: „la forme de la tête avait été, dès la première période de la vie, un sujet d'étonnement et de plaisanteries pour les voisins."

Le jeune Ecossais, cité par M. Turner, vint au monde par un accouchement laborieux, et la forme étrange de sa tête attira de suite l'attention.

Les trois personnes, chez qui la difformité fut constatée par M. von Düben, l'apportèrent toutes les trois en naissant.

Chez un enfant de 13 jours, dont le crâne a été décrit par M. Förster, la carène, — car on ne peut guère interpréter autrement la crête osseuse mentionnée dans la description, — pouvait être sentie à travers la peau.

Un enfant de 7 mois présentait avec tant d'évidence les caractères de la scaphocéphalie, que M. Davis, qui l'examina, déclare que la mère se trompait en affirmant que les sutures étaient ouvertes au moment de la naissance.

L'homme à scaphocéphalie très accentuée, cité par M. Calori, possédait déjà en venant au monde une tête longue et étroite.

---

micae, Liber II, 1785, pag. 13 et *Museum anatomicum*, I, 1793, no. XV, Ossa morbosa, pag. 134). Cette opinion est toutefois erronée, comme j'en ai acquis la pleine conviction par l'étude attentive du crâne en question, lequel se trouve encore ici à Leide, dans la collection anatomique. La forme s'éloigne tout à fait de celle des crânes scaphocéphales. Les bosses pariétales sont bien distinctes, et il en est de même des grands trous pariétaux. Il n'y a aucune trace de carène, et la voûte crânienne est même très large. A la face interne des os du crâne, qui sont très minces et très légers, on voit des signes d'usure fortement accusés et dus à l'ampliation pathologique du contenu du crâne (hydrocéphale). La synostose de la majeure partie de la suture sagittale est la seule particularité que cette pièce ait en commun avec les crânes scaphocéphales.

Dans tous les cas où l'observation a eu lieu à un âge très peu avancé ou même immédiatement après la naissance, l'anomalie était déjà parfaitement reconnaissable. Pour ces cas-là du moins, la conclusion ci-dessus énoncée est donc à l'abri de toute contestation, et, en tenant compte de la grande analogie qui existe entre ces crânes et les autres crânes scaphocéphales, on est fondé à l'admettre pour tous les cas indistinctement.

La question du mode de production de cette forme particulière du crâne a été résolue de deux manières différentes.

D'après la première opinion, émise d'abord par M. Minchin, défendue par M. von Baer et adoptée par M. Lucae, il n'y aurait à l'origine qu'un seul point d'ossification pour les deux pariétaux.

L'argument essentiel qu'on donne à l'appui de cette manière de voir, c'est qu'on trouverait des lignes d'ossification allant en rayonnant à partir de la suture sagittale. Les figures de M. Minchin sont trop incomplètes pour qu'on puisse se former, à cet égard, une opinion précise. M. Macalister toutefois, en examinant un des crânes décrits par M. Minchin, s'est assuré de la réalité du caractère signalé. Le crâne de momie égyptienne, mentionné par M. Turner, a aussi un aspect un peu rayonné dans la région de la suture sagittale. M. Davis a vu sur le crâne de Clothfair „quelques faibles traces d'une apparence de radiation autour d'un point central;" mais les autres crânes à suture sagittale oblitérée, qu'il a eu l'occasion d'examiner, ne montraient aucun vestige d'une pareille disposition. Sur le crâne étudié par moi on n'en découvre rien non plus.

M. von Baer a encore fait valoir, en faveur de l'unité originelle des pariétaux, la circonstance qu'ils s'avancent sur le domaine de la grande fontanelle. Mais la faiblesse de cet argument a déjà été montrée par M. Welcker. Il n'y a, en effet, aucune raison pour admettre que la même projection en avant ne pourrait se produire avec deux pariétaux séparés à l'origine et soudés de bonne heure.

L'absence des bosses pariétales ne saurait pas non plus être considérée comme une preuve de l'existence d'un pariétal unique,

car elles font défaut sur une foule de crânes possédant incontestablement deux pariétaux distincts. Des crânes de fœtus de 6—7 mois m'ont déjà offert de grandes différences dans le degré de développement de ces bosses; chez quelques-uns elles sont très proéminentes, presque pointues, chez d'autres elles sont beaucoup moins prononcées. Certains crânes scaphocéphales, en outre, montrent des bosses pariétales (Davis, Macalister). M. Macalister a déterminé pour 31 crânes d'adultes la distance des deux bosses, ainsi que leur position relative; la distance variait entre 178 et 38 mm. Le crâne dans lequel fut rencontrée cette dernière et faible valeur était un vrai scaphocéphale. La bosse pariétale était située 5 fois plus près du bord écailleux que du bord sagittal, et 2 fois plus près du bord postérieur que du bord antérieur. Il résulte donc de ces mesures, que la distance mutuelle et la position relative des bosses sont, l'une et l'autre, loin d'être constantes.

Nous avons déjà vu ci-dessus que M. Welcker et, avant lui, M. Virchow ont expliqué la production de la difformité par la soudure précoce de deux pariétaux primitivement distincts.

Sur deux des crânes examinés par M. Welcker, le Danois de la collection de Göttingen et le n°. 515 de la collection de Dresde, existaient encore des traces de la suture sagittale; il s'en trouve aussi des indications, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, dans le crâne dont j'ai donné la description. Ces restes de suture n'avaient pas échappé à M. Minchin ni à M. von Baer, mais ces deux savants crurent devoir les interpréter comme des lacunes dans l'ossification, comme des *suturae mendosae*, telles qu'on en voit dans la conque de l'occipital. Des observations postérieures ont mis hors de doute la fausseté de cette opinion. Sous ce rapport, les crânes décrits par M. Förster et M. Calori ont une grande importance, attendu qu'ils fournissent la preuve positive de l'existence de la suture sagittale, et par conséquent de l'existence de deux pariétaux.

Dans le premier de ces deux cas, en effet, le tiers antérieur de la suture sagittale fut trouvé complétement oblitéré, tandis que plus en arrière la suture était ouverte. Sur le crâne d'Antonio,

le quart antérieur de la suture sagittale était entièrement ouvert, et dans la partie postérieure on voyait encore des traces de dentelures, ce qui semble indiquer, conformément à l'opinion de M. Calori, qu'ici la soudure ne datait pas encore de longtemps. Dans ce cas, l'oblitération doit donc avoir commencé plus près du milieu, à l'endroit où se trouvent l'éminence et les petites ouvertures, qu'on voit également sur la pièce décrite par moi.

Ces deux crânes sont encore très intéressants comme montrant que la synostose ne débute pas toujours dans la même partie de la suture sagittale, ce qui n'est certainement pas sans influence sur la forme que le crâne acquiert plus tard. A cette occasion, on peut rappeler les observations de M. Welcker concernant l'oblitération de la suture sagittale. M. Welcker partage cette suture en 5 portions, la première joignant la suture coronale, la cinquième la suture lambdoïde. La quatrième portion, qui montre le moins de dentelures et se trouve entre les trous pariétaux, est un peu plus courte que les autres. Chez les crânes normaux, c'est ordinairement dans cette quatrième portion que la suture sagittale s'oblitère le plus et le plus tôt (chez 82 crânes sur 100). On peut donc admettre, sans trop s'aventurer, que chez les crânes scaphocéphales la synostose commencera habituellement dans la partie postérieure de la suture sagittale; cela est d'ailleurs d'autant plus probable que les restes de la suture se rencontrent presque exclusivement dans la partie antérieure.

Le second argument en faveur de l'opinion de M. Welcker est fourni par l'existence des trous pariétaux dans certains crânes scaphocéphales.

M. Welcker a constaté, sur des crânes de fœtus de 7—9 mois, que ces trous proviennent de fentes, qui restent ouvertes entre les rayons osseux dirigés des bosses pariétales vers l'angle lambdoïde. Plusieurs crânes de ce même âge m'ont offert la confirmation de cette observation; chez d'autres, et même chez des crânes de nouveau-nés, je n'ai trouvé de fente qu'à un seul côté, ou bien je n'en ai pas vu du tout, ce qui est d'accord avec le fait que les trous pariétaux manquent très souvent chez les adultes,

soit d'un côté, soit des deux côtés à la fois. En examinant une série de crânes d'enfants, d'âge successivement croissant, j'ai vu la fente, du côté tourné vers la suture sagittale, devenir de plus en plus étroite et enfin se fermer, de sorte qu'il ne restait plus que des ouvertures de grandeur très diverse.

La présence des trous pariétaux est donc liée à l'existence d'un bord osseux libre, savoir le bord sagittal du pariétal; si dans des crânes scaphocéphales on rencontre un ou deux trous pariétaux, ceux-ci fournissent la preuve qu'il y a eu à l'origine deux pariétaux distincts. M. Welcker, M. Davis et d'autres observateurs ont constaté la présence d'une ou de deux de ces ouvertures dans certains crânes scaphocéphales. Dans notre exemplaire elles font défaut; mais, d'après ce qui précède, cela ne prouve rien contre la séparation originelle des pariétaux.

Il y a encore un point qui mérite d'être pris ici en considération. Les sutures sont de la plus grande importance pour l'accroissement des os; elles remplissent dans ce phénomène le même rôle qui, pour d'autres parties du squelette, est assigné aux cartilages épiphysaires. Si donc il n'existait primitivement qu'un seul pariétal, et que par conséquent il n'y eût pas de suture sagittale, la croissance en largeur devrait se faire *en majeure partie* au bord écailleux des pariétaux; or cela est contredit par les mesures de M. Welcker. D'après ce savant, la conclusion précédente devrait même s'appliquer à la *totalité* de l'accroissement en largeur; mais, à mon avis, il faut admettre aussi pour les os crâniens, tout comme pour les autres, une croissance interstitielle.

Je fixerai enfin l'attention sur les os suturaux qui, dans notre cas de scaphocéphalie, se trouvent aux bords latéraux des pariétaux. Quelque chose d'analogue se voit dans une des figures de M. von Düben, mais les os suturaux y sont beaucoup plus grands et occupent tout le bord écailleux. Là où l'ostéogénie marginale n'est pas suffisamment active, ces os suturaux se forment quelquefois en très grand nombre, par exemple dans le cas d'hydrocéphale. Chez notre sujet, les os suturaux ne peuvent avoir eu, vu leurs faibles dimensions, qu'une influence assez bornée.

De ce qui précède, il résulte donc que dans les crânes scaphocéphales la suture sagittale existe à l'origine, et qu'elle commence déjà à s'oblitérer avant la naissance. Quant à l'époque de la vie fœtale à laquelle correspond le début du phénomène d'oblitération, il est impossible de la préciser; on ne possède pas d'observation de fœtus avant terme montrant les caractères de la scaphocéphalie. Je regarde comme probable que la soudure totale ou partielle des pariétaux ne peut avoir lieu que dans les derniers mois de la grossesse. M. Welcker a déjà fait remarquer que l'union trop précoce des pariétaux apporterait un trouble profond au développement du cerveau; or, aucun dérangement de ce genre n'a été constaté dans les cas connus.

La synostose précoce de la suture sagittale permet d'expliquer facilement la forme des crânes scaphocéphales, à l'aide de la loi énoncée par M. Virchow [1]), suivant laquelle, lorsqu'il y a synostose d'une suture, le développement du crâne est entravé dans la direction perpendiculaire à la suture oblitérée. Près des autres sutures, il s'opère alors un accroissement compensateur. Cette loi ne rend peut-être pas compte de chaque cas particulier, mais, d'une manière générale, elle est incontestablement vraie.

Si nous l'appliquons à notre exemple de scaphocéphalie, nous comprenons pourquoi la voûte crânienne est si étroite, et comment, par l'accroissement compensateur concentré spécialement sur les sutures coronale et lambdoïde, le crâne a pris sa forme allongée. La direction de cette dernière suture, plus horizontale que de coutume, a ici son importance. Grâce à elle, en effet, cette suture a perdu presque toute influence sur l'accroissement transversal, et est devenue à peu près exclusivement une suture d'allongement du crâne.

Le fait, que la difformité en question dépend de l'oblitération de la suture sagittale, ne constitue pas nécessairement le terme de nos investigations. Nous pouvons faire un pas de plus et essayer de découvrir les causes capables de déterminer cette synostose précoce de la suture sagittale. Pour ce qui concerne le crâne décrit par moi, je crois devoir admettre que des phénomènes inflamma-

---

[1]) *Gesammelte Abhandlungen*, p. 936.

toires, ayant procédé de la substance de l'os ou du péricrâne, y ont joué un rôle important. Comme on l'a vu, la surface de la région sagittale et des parties voisines est inégale et pourvue d'un grand nombre d'ouvertures de dimensions diverses; les pariétaux sont notablement plus épais auprès du sillon longitudinal que dans les points plus rapprochés des bords latéraux. Les ouvertures ne peuvent guère avoir servi à autre chose qu'à livrer passage à des vaisseaux sanguins. La grande vascularité fait présumer des phénomènes de phlogose, et ceux-ci, lorsqu'ils attaquent le périoste ou le tissu osseux lui-même, sont regardés comme très favorables à l'oblitération des sutures. L'épaisseur plus grande de l'os vient à l'appui de la conjecture que la synostose a été précédée ici d'un procès de nature inflammatoire.

Dans la description du crâne d'Antonio, M. Calori signale également le grand nombre des vaisseaux sanguins qui ont dû exister au voisinage de la suture sagittale. Les pariétaux du crâne d'enfant décrit par M. Förster se distinguaient, comparés aux autres os de ce crâne, par l'abondance des vaisseaux, et ils étaient épaissis à leur bord sagittal; dans ce cas aussi, il y a donc lieu d'attribuer un rôle à l'inflammation, problablement à celle de la substance osseuse elle-même, car il n'est rien dit des enveloppes extérieures, et l'examen n'a pas montré que la dure-mère ait eu de l'influence sur la production de la synostose.

Je note, à cette occasion, que M. Welcker a le premier décrit, sous le nom de *trigonocéphales*, quelques crânes qui, dans leur mode de formation, ont beaucoup d'analogie avec les scaphocéphales. Dans cette anomalie, qui se rencontre rarement, les deux moitiés du frontal se sont soudées trop tôt l'une à l'autre. Sur une des planches que M. Welcker y a consacrées, je vois, à proximité de ces bords osseux soudés, une multitude d'ouvertures, qui ont probablement la même signification que dans les cas de scaphocéphalie.

M. Calori est d'avis que la synostose de la suture sagittale n'est pas la vraie cause dc la déformation, ou que, du moins,

---

[1]) *Wachsthum und Bau*, Pl. XIV, fig. 2 et 3.

il n'est pas tout à fait certain qu'elle doive être considérée comme telle; il va plus loin et pense que, indépendamment de toute maladie des os du crâne, la cause doit être cherchée pour une part dans des influences mécaniques (pression sur la tête, par suite de la fausse position du fœtus dans la matrice; pression sur la matrice elle-même, imputable à la profession de la mère, à des corsets trop étroits ou trop rigides, à des contractions trop fortes des muscles abdominaux, etc.), et pour une autre part dans une maladie du cerveau et dans la manière dont celui-ci se développe et croît. A cet égard, toutefois, les observations font complétement défaut, et je crois, en conséquence, pouvoir me borner à cette simple mention.

Plusieurs auteurs, surtout M. Barnard Davis, ont fait remarquer que la suture sagittale, et celle-là seule, peut être entièrement oblitérée sans que le crâne possède la forme scaphocéphale; et, en second lieu, qu'il y a des crânes qui, dans leur développement normal, présentent une si grande analogie avec les crânes scaphocéphales, qu'ils doivent presque être regardés comme des scaphocéphales naturels.

Pour ce qui touche le premier point, je dois admettre que la soudure des pariétaux n'aura eu lieu, dans ces cas, qu'à une époque plus avancée. Des crânes adultes ne peuvent rien nous apprendre à ce sujet, car chez eux la synostose peut s'effectuer sans modifier la forme. Mais, même chez les crânes jeunes, la soudure peut se produire sans entraîner la forme scaphocéphale. J'ai devant moi le crâne d'un enfant de 8 ans, où la suture sagittale est complétement oblitérée, tandis que toutes les autres sutures sont restées ouvertes. La distance entre les bosses pariétales fortement proéminentes, mesurée par-dessus le crâne, s'élève à 130 mm. Il y a deux grands trous pariétaux; aucune trace de carène. Evidemment, la soudure a commencé ici assez longtemps après la naissance. — L'existence d'une suture sagittale synostotique chez des crânes non scaphocéphales ne diminue en rien, selon moi, l'importance de cette oblitération pour la production de l'anomalie en question.

En ce qui concerne le second point, M. Welcker avait déjà mentionné que la forme du crâne des Groënlandais se rapproche de la forme scaphocéphale. Un crâne de femme groënlandaise, âgée par estimation d'au moins 40 ans, crâne qui fait partie de la collection anatomique de Leide, confirme cette opinion, pour ce qui regarde l'existence de la carène. Cette carène est large et s'étend jusque sur le milieu du frontal; la suture sagittale montre un commencement d'oblitération, mais se laisse encore facilement poursuivre sur toute sa longueur. Il y a des bosses pariétales bien accusées; mesurée par-dessus le crâne, leur distance est de 150 mm. Le front est plat. Un second crâne groënlandais offre, en ce qu'elles ont d'essentiel, les mêmes particularités. Je trouve aussi une carène distincte sur le crâne d'Esquimau dont il a été parlé plus haut, sur celui d'un habitant de la Californie septentrionale, et sur un crâne provenant d'Ounalaschka (îles Aleutiennes). Dans tous ces crânes, auxquels je pourrais en ajouter quelques autres, la carène est, en réalité, le seul trait qui rapproche leur forme de celle des crânes scaphocéphales; pour tout le reste, ils s'en éloignent considérablement.

M. Davis a fait connaître que parmi les indigènes de la Nouvelle-Calédonie, des Nouvelles-Hébrides et des Iles-Carolines, on trouve des crânes qui, par leur grande longueur et leur peu de largeur, ainsi que par leur élévation sur l'axe de la suture sagittale, méritent le nom de scaphocéphales, tout en ayant ordinairement les sutures ouvertes. Grâce à la générosité de M. le Dr. Swaving, nous possédons ici 7 crânes d'habitants des Iles-Carolines [1]. Chez six d'entre eux il existe une carène plus ou moins apparente; tous sont longs et étroits et possèdent de fortes bosses pariétales. Par ces caractères, très importants au point de vue ethnologique et crâniologique, les crânes en question se distinguent donc très notablement d'autres formes crâniennes, sans pour cela devenir des scaphocéphales au sens de M. von Baer.

---

[1]) Voir: J. van der Hoeven, *Beschrijving van Schedels van inboorlingen der Carolina-eilanden*, dans *Verslagen en Mededeelingen der Koninkl. Akademie van Wetenschappen*, Afd. Natuurk. 2de Reeks, Dl. I.

Pour finir, encore un mot sur l'influence que la scaphocéphalie exerce sur la santé et sur les facultés intellectuelles. M. von Baer, qui croyait avoir examiné trois crânes scaphocéphales, provenant tous les trois d'individus jeunes, en avait conclu que la déformation ne semblait pas permettre une longue vie. L'expérience postérieure est en désaccord avec cette opinion. Des personnes chez qui l'anomalie fut constatée au cours de la vie, moururent de maladies n'ayant évidemment aucun rapport avec la forme du crâne, par exemple, de pleurésie ou de typhus; d'autres atteignirent un âge trop avancé pour qu'on puisse admettre une influence nuisible sur la durée de la vie ou sur la santé.

Le nombre des observations est en outre assez grand pour permettre de constater que l'anomalie en question de la boîte crânienne ne porte aucun préjudice au développement intellectuel.

Des preuves suffisantes de chacune de ces deux assertions se trouvent dans la première partie de mon travail.

Explication des figures.

PLANCHE III.

Fig. 1, 2 et 3. Crâne scaphocéphale, vu du côté droit, par devant et par derrière.

PLANCHE IV.

Fig. 1. Le même crâne, vu par en haut.

„ 2. Portrait en profil d'un homme de 54 ans, à crâne scaphocéphale (d'après M. Calori).

Toutes les figures sont dessinées à ⅓ de la grandeur naturelle.

SUR LES COMBINAISONS

DE LA

QUININE AVEC LE BENZOL, LE TOLUOL ET AUTRES HYDROCARBURES,

PAR

A. C. OUDEMANS.

On ne possède que peu de données certaines sur la solubilité de la quinine dans le benzol et autres hydrocarbures analogues. Selon MM. A. et Th. Husemann (voir l'ouvrage qu'ils ont publié sous le titre: *Die Pflanzenstoffe*) la quinine se dissout facilement dans le benzol. Il est probable que par *benzol* on a entendu ici le produit brut de la distillation du goudron de houille, produit qui consiste en un mélange de différents hydrocarbures; car, dans le benzol pur, la quinine ne se dissout, d'après mes expériences, qu'en faible proportion. A une température d'environ 15° C. l'hydrocarbure en dissout à peine $\frac{1}{200}$ de son poids, à la chaleur de l'ébullition une quantité relativement plus grande (comme maximum peut-être $\frac{1}{30}$); par le refroidissement le liquide abandonne des cristaux, dont l'aspect est très différent suivant la quantité d'alcaloïde qui avait été dissoute. Lorsque le benzol a été saturé de quinine à la température de l'ébullition, on obtient ordinairement par le refroidissement des aiguilles très déliées, qui ressemblent assez au sulfate de quinine cristallisé au sein d'une dissolution aqueuse. Si la solution était un peu plus étendue, il s'en sépare, au bout de quelques heures seulement, des cristaux très brillants,

fragiles, mais nets, qui, d'après la diagnose de M. H. Vogelsang, sont probablement clinoédriques, et qui s'agrégent ordinairement en petits groupes cristallins assez volumineux.

Les cristaux de chacune de ces deux espèces ne sont pas uniquement composés de quinine pure, mais constituent une combinaison de 1 molécule de quinine avec 1 molécule de benzol, comme le prouvent les résultats des analyses suivantes:

1°. 1,274 grammes des cristaux séchés à l'air sur du papier à filtre perdirent, par l'échauffement à 100°, 0,231 gr. de leur poids. Le résidu consistait, ainsi que l'a appris la détermination du pouvoir rotatoire spécifique, en quinine pure;

2°. 1,581 grammes de la combinaison fraîchement cristallisée furent pressés aussi rapidement que possible entre du papier à filtre, jusqu'à ce que les cristaux ne cédassent plus d'humidité. La poudre encore légèrement cohérente fut chauffée à 100°, ce qui lui fit perdre 0,322 gr. de son poids.

Trouvé.		Calculé d'après
C_6H_6		$C_{20}H_{24}N_2O_2 + C_6H_6$
1.	2.	
18,0	20,3	19,4

La première analyse a donné une perte trop petite, la seconde, au contraire, une perte trop grande. Cela s'explique par la circonstance que les cristaux, même réduits en poudre fine, ne se laissent pas facilement débarrasser de tout le liquide adhérent par la compression entre des doubles de papier, tandis que, d'un autre côté, lorsqu'ils ont été séchés à l'air, ils ont manifestement déjà perdu un peu de benzol.

La découverte fortuite de cette combinaison m'a conduit à rechercher si des corps analogues pouvaient aussi être obtenus avec la quinine et d'autres hydrocarbures de la série aromatique. J'ai trouvé qu'en effet les dissolutions de la quinine dans le toluol pur (point d'ébullition 110° C.), l'isoxylol pur et le mésitylène pur laissaient déposer peu à peu par l'évaporation ou, dans des circonstances favorables, par le refroidissement, des cristaux qui consistaient évidemment en une combinaison de la quinine avec les hydrocar-

bures susdits. La combinaison avec le toluol ressemble tout à fait par l'aspect extérieur au benzolate de quinine ; celle avec l'isoxylol, au contraire, se forme difficilement et se présente à l'état de petites verrues cristallines très cohérentes. Dans le mésitylène, la quinine se dissout en proportion assez forte, et ce n'est qu'après avoir été longtemps abandonnée à elle-même que cette dissolution, qui à froid offre tous les caractères de la sursaturation, laisse déposer une masse cristalline rayonnée.

Comme la combinaison de la quinine avec le toluol était très facile à préparer, je la soumis aussi à l'analyse, et lui trouvai une composition analogue à la précédente, savoir, 1 molécule de quinine et 1 molécule de toluol.

1°. 1,399 gr. de la combinaison perdirent par la dessiccation à 100° C. 0,299 gr. de leur poids;

2°. 1,707 gr. perdirent par la dessiccation à 100° C. 0,380 gr. de leur poids.

Trouvé.		Calculé d'après
C_7H_8		$C_{20}H_{24}N_2O_2 + C_7H_8$
1.	2.	
21,4	21,9	22,6

Les combinaisons de la quinine avec le benzol et le toluol, qui ont été étudiées plus particulièrement, perdent déjà peu à peu à l'air leur contenu en hydrocarbure organique. Les cristaux un peu volumineux se décomposent même rapidement à la surface, et deviennent alors blancs et mats, quelle que soit leur transparence originelle; mais la décomposition ne marche ensuite qu'avec lenteur, et n'est complète qu'après un temps assez long.

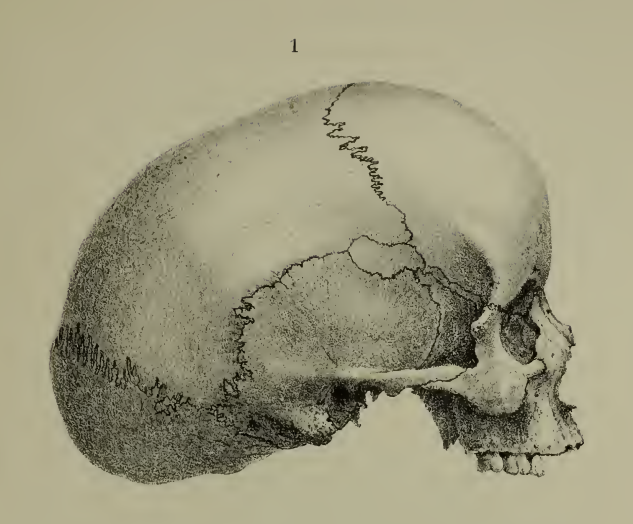
Comme surcroît de preuve, je me suis assuré que les deux combinaisons, chauffées avec précaution dans un petit appareil distillatoire, laissaient effectivement dégager du benzol et du toluol, qui se condensaient à l'état liquide.

La possibilité de convertir la quinine, par l'association au benzol et au toluol, en une combinaison facilement cristallisable et médiocrement soluble, m'a fourni un excellent moyen d'obtenir de la quinine tout à fait pure.

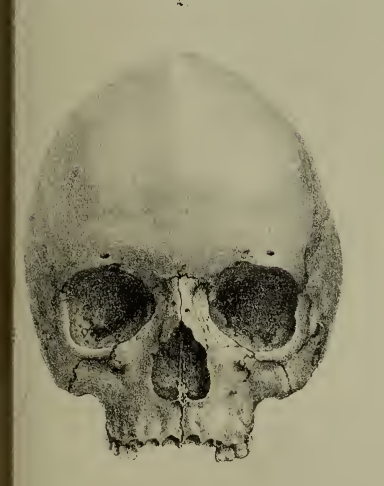
Dans une autre occasion je ferai connaître en détail comment, à l'aide des produits qu'on trouve dans le commerce, on peut préparer de la quinine amorphe sèche à peu près pure.

Pour débarrasser celle-ci des dernières traces d'impureté, on la dissout dans le benzol bouillant, ou, mieux encore, dans un mélange de benzol et de toluol, tel qu'on l'obtient par la purification du produit brut du commerce et la distillation fractionnée (un liquide dont le point d'ébullition est à environ 100° C. convient parfaitement). Les cristaux déposés après un repos de vingt-quatre heures sont lavés avec du benzol frais, pressés dans du papier à filtre, puis séchés à 100° C., jusqu'à ce que la poudre qui reste soit devenue complétement inodore.

1



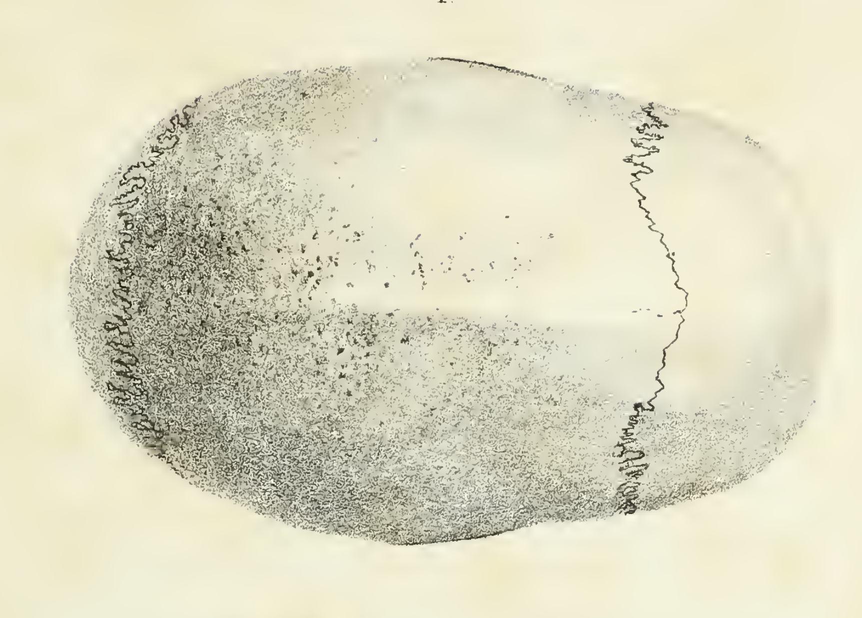
2.



3.



1.



2.

TROISIÈME LIVRAISON.

J. A. Groshans, Sur la nature des éléments (corps non-décomposés) de la chimie....... Pag. 193.

E. H. von Baumhauer, Sur un météorographe universel destiné aux observatoires solitaires. „ 230.

T. Zaaijer, Sur la scaphocéphalie.. „ 259.

A. C. Oudemans, Sur les combinaisons de la quinine avec le benzol, le toluol et autres hydrocarbures.. „ 285.

CONDITIONS DE L'ABONNEMENT.

Les **Archives Néerlandaises des sciences exactes et naturelles** paraissent à des époques indéterminées, en livraisons de 6 à 12 feuilles d'impression, avec un nombre illimité de planches coloriées et noires.

Trente feuilles forment un volume.

Avec la dernière livraison de chaque volume les souscripteurs reçoivent gratis une table des matières, un titre général et une couverture.

Les abonnements engagent à un volume seulement. Les livraisons ne se vendent pas séparément.

Le prix du volume, avec les planches, est fixé à *fl.* 6.—.

On souscrit chez l'éditeur et chez tous les libraires des Pays-Bas et de l'étranger.

HARLEM. — IMPRIMERIE DES HÉRITIERS LOOSJES.

TOME IX. 4me Livraison.

ARCHIVES NÉERLANDAISES

DES

SCIENCES EXACTES ET NATURELLES

PUBLIÉES PAR

LA SOCIÉTÉ HOLLANDAISE DES SCIENCES À HARLEM,

ET RÉDIGÉES PAR

E. H. VON BAUMHAUER

Secrétaire de la Société,

AVEC LA COLLABORATION DE

MM. D. Bierens de Haan, C. A. J. A. Oudemans, W. Koster,
C. H. D. Buijs Ballot et S. C. Snellen van Vollenhoven.

LA HAYE
MARTINUS NIJHOFF.

BRUXELLES C. MUQUARDT. — PARIS AUG. DURAND. — LEIPZIG T. O. WEIGEL.

LONDRES TRÜBNER & C°. — WILLIAMS & NORGATE. — NEW-YORK B. WESTERMANN & C°. — F. W. CHRISTERN.

1874.

ARCHIVES NÉERLANDAISES

DES

Sciences exactes et naturelles.

ESQUISSE D'UN SYSTÈME NATUREL DES

GOBIOÏDES.

PAR

P. BLEEKER.

Les Gobioïdes sont des poissons osseux acanthoptérygiens, à tronc sans ligne latérale tubuleuse, à épines dorsales (sauf très rarement l'antérieure seulement) minces, flexibles et non poignantes, et à ventrales thoraciques libres ou unies, à quatre ou cinq rayons divisés, dont les deux postérieurs sont plus longs que les autres.

Ce peu de mots suffisent à bien caractériser la famille, mais tous ses membres ont encore en commun des yeux recouverts par la peau générale, des narines doubles de chaque côté, des dents aux deux mâchoires, des os pharyngiens inférieurs non réunis ensemble, des sousorbitaires ne s'unissant pas au préopercule, des branchies simples sans appendice labyrinthiforme, des orifices branchiaux séparés par un isthme, une papille anale, des pectorales à rayons médians divisés plus longs que les autres, une anale sans épines, et une caudale entière ou faiblement échancrée.

La diagnose exclut de la famille les Callionymus et les Platyptera, qui, bien que rapportés par quelques auteurs modernes aux Gobioïdes, appartiennent à deux familles différentes.

Les espèces de Gobioïdes sont fort nombreuses. Artédi n'en énuméra que quatre seulement, mais les recherches faites depuis 1738 en ont porté le nombre à environ 480, et il me paraît probable que ce nombre ne représente pas encore la moitié des espèces existantes. Moi-même j'ai eu l'avantage de découvrir le quart des espèces actuellement connues, et on peut juger par là de ce qu'il y a lieu d'attendre des recherches qui restent à faire dans tant de régions non ou fugitivement explorées.

Les espèces aujourd'hui connues se laissent rapporter à quatre Sousfamilles, caractérisées par les modifications dans le système des nageoires. Les *Eleotriformes* se distinguent par des ventrales libres complètement séparées; les *Gobiiformes* par des ventrales réunies ensemble, soit complètement soit à leur moitié basale, et par deux dorsales séparées ou réunies seulement à leur base; les *Amblyopiformes* par la réunion des nageoires verticales, dont la dorsale est unique et occupe toute la longueur du dos; — et les *Luciogobiiformes* par une seule dorsale courte, placée sur la moitié postérieure du tronc.

La sous-famille des Luciogobiiformes n'est représentée, dans la science, que par une seule espèce, et des Amblyopiformes on n'en connaît jusqu'ici qu'à peu près une vingtaine. Celles des Eleotriformes sont déjà beaucoup plus nombreuses; j'en trouve enregistrées environ une centaine. Les espèces qui restent, au nombre de plus de 350, sont toutes des Gobiiformes.

Les Eleotriformes se divisent en trois Groupes: les Eleotrini, (avec trois sous-groupes, les Philypni, Eleotrii et Butii), les Hypseleotrini et les Pareleotrini. Les *Eleotrini* se font aisément reconnaître par leur corps cylindrique, à tête large et déprimée, les *Hypseleotrini* par leur corps élevé, court et fort comprimé et couvert de larges écailles, et les *Pareleotrini* par leur corps allongé et comprimé, à tête convexe plus haute que large.

Chacun de ces groupes comprend des genres, dont les caractères sont nettement tranchés. On trouve ces caractères surtout dans les modifications du système dentaire, du système tégumentaire et des nageoires verticales. Aux genres déjà établis ou indiqués

j'ajoute ici les genres Philypnodon, Guavina, Oxyeleotris, Gymneleotris, Odontobutis, Gymnobutis, Prionobutis, Brachyeleotris et Hetereleotris, ce qui fait monter leur nombre à 26.

Les groupes, dans la sous-famille des Gobiiformes, sont plus nombreux. J'y distingue les *Gobiodontini*, à corps trapu comprimé et presque ovalaire; — les *Gymnogobiini*, à corps allongé et complètement dénué d'écailles; — les *Latrunculini*, à dents inframaxillaires unisériales, à museau et joues nus, et à corps couvert de grandes écailles; — les *Triaenophorichthyini*, à ventrale unie au ventre par la base seulement; et à dents tricuspides; — les *Sicydiini*, à ventrale à large disque central uni au ventre; — les *Gobiini* (avec les sous-groupes Brachygobii, Platygobii, Eugobii, Chaeturichthyi et Gobionelli), à corps plus ou moins allongé, à dents inframaxillaires disposées sur deux ou plusieurs rangées, et à ventrale unie au ventre par la base seulement; — les *Periophthalmini*, à yeux érectiles protégés par une paupière inférieure libre, et à dorsales d'égale longueur; — et les *Apocrypteini*, à dents inframaxillaires unisériales, et à seconde dorsale allongée, plus de deux à plus de cinq fois plus longue que la dorsale antérieure.

Les nombreux genres appartenant à ces groupes sont, eux aussi, en grande partie caractérisés par des détails de la dentition, et lorsque ces détails ne suffisent pas, on trouve, ici encore, d'excellents caractères pour une détermination rigoureuse dans l'organisation épidermale, dans la forme et l'extension des nageoires, dans les proportions du corps, de la tête, des mâchoires, des orifices branchiaux, etc. — L'état actuel de nos connaissances, cependant, ne permet pas de rapporter bon nombre d'espèces à leurs véritables genres. Le genre Gobius, tel qu'il est présenté ci-dessous, reste manifestement encore au rang de sous-groupe, mais dont les genres demandent à être déterminés rigoureusement. Aussi les sous-genres Gobius, Deltentosteus, Coryphopterus et Mesogobius ne sont à considérer que comme des coupes provisoires.

Aux genres de Gobiiformes reconnus, décrits ou indiqués jusqu'ici et dont l'exposition des caractères va suivre, j'ajoute encore

les genres Pseudogobiodon, Alepidogobius, Gobiopterus, Leptogobius, Triaenopogon, Microsicydium, Periophthalmodon, Brachygobius, Platygobius, Stenogobius, Callogobius, Hypogymnogobius, Hemigobius, Actinogobius, Heterogobius, Acentrogobius, Porogobius, Amblygobius, Zonogobius, Odontogobius, Stigmatogobius, Amblychaeturichthys, Parachaeturichthys, Apocryptodon, Parapocryptes et Pseudapocryptes.

Dans la sous-famille des Amblyopiformes les types génériques ne sont qu'au nombre de six. Je n'avais à ajouter aux genres adoptés que le genre Brachyamblyopus.

Les genres de l'aperçu diagnostique suivant sont au nombre de cent.

Quant à la validité d'un aussi grand nombre de types génériques dans une famille où plusieurs ichthyologistes éminents n'en admettent guère qu'une vingtaine, je ne nie nullement qu'elle soit sujette à être contestée.

Les vues par rapport à ce que c'est qu'un genre, sont, actuellement encore, fort divergentes. Depuis longtemps les genres Artédiens ont pris, presque sans exception, rang de famille; et grand nombre des genres Cuviériens sont devenus, eux aussi, des familles ou des groupes de genres pour les naturalistes modernes. Mais on finit par tomber dans l'exagération, en multipliant outre mesure les types sur des caractères purement spécifiques, ou sur des caractères de sexe et même d'âge. La réaction ne se fit pas attendre, et l'intention louable de simplifier la science, poussée, elle aussi, trop loin, lui nuisit plus qu'elle ne la servit, par la suppression ou la déformation de nombreux genres qui avaient été bien conçus et bien établis. — Tant que cette divergence d'opinions existe, la science et les naturalistes n'auront qu'à en subir les conséquences.

Les genres des Gobioïdes que j'ai cru devoir adopter et établir reposent généralement sur des modifications dans le système dentaire, de sorte qu'il suffit le plus souvent, pour reconnaître un genre, dans les limites d'un groupe donné, d'en examiner la dentition. Pour bien faire apprécier l'utilité de l'application des caractères fournis par le système dentaire, je fais précéder le conspectus à diagnoses plus étendues par un exposé des

genres dont le système dentaire est suffisamment connu. Pour la plupart, il n'a pas été nécessaire, pour la détermination rigoureuse, de donner d'autres phrases que celle ayant rapport à la dentition. On verra du reste, par les diagnoses plus étendues du conspectus, que des modifications plus ou moins importantes dans le système d'écaillure, dans celui des nageoires, etc., se combinent presque toujours avec celles que présente le système dentaire.

De beaucoup de genres on ne connaît jusqu'ici qu'une seule espèce, mais on ne saurait y voir une objection contre la validité du genre lui-même, la valeur d'un genre ne pouvant pas dépendre du nombre de ses espèces. Si un tel principe était admissible, on aurait à supprimer bien des genres dûment établis et généralement reconnus, et même des sous-familles et des familles. Quant aux autres genres, il y en a qui comptent des espèces assez nombreuses. Le genre Gobius, même avec les limites proposées dans cette esquisse, en comprend environ une centaine, sans compter les espèces qui pourraient bien y appartenir aussi, mais dont les affinités restent encore plus ou moins douteuses. Le recensement des autres espèces y fait reconnaître environ 25 Acentrogobius, 19 Cryptocentrus, 16 Ophiocara, 14 Glossogobius, 14 Awaous, 12 Culius, 11 Sicyopterus, 10 Eleotris, 10 Valenciennesia, 9 Oxyurichthys, 9 Ctenogobius, 7 Centrogobius, 6 Butis, 6 Dormitator, 6 Asterropteryx, 6 Gobiodon, 5 Porogobius, 5 Oxyeleotris, 5 Amblygobius, les autres genres n'étant positivement représentés jusqu'ici que par une jusqu'à quatre espèces.

Le système proposé dans ces pages ne peut avoir que le mérite d'être l'expression de l'état actuel de cette partie de la science. Des notions plus précises sur tant d'espèces encore très-imparfaitement connues, et la découverte d'un grand nombre d'autres, qui probablement ne se fera pas attendre, y nécessiteront sans doute des modifications, soit dans la constitution des groupes, soit dans le nombre et dans la diagnose des genres.

Ce sera un nouveau pas vers la connaissance plus exacte d'une famille, qui comprend tout un monde de formes remarquables et qu'on croyait composée, il n'y a pas encore un siècle, d'un seul genre comptant tout au plus une dizaine d'espèces.

GOBIOIDEORUM DENTITIO.

ELEOTRIFORMES.

ELEOTRINI.

Philypni. Dentes maxillis pluriseriati. Dentes vomerini.

Philypnodon Blkr. Dentes palatini et linguales; — intermaxillares inframaxillaribus longiores.

Bostrichthys C. Dum. Dentes palatini et linguales nulli. Squamae cycloideae 100 circ. in serie longitudinali.

Philypnus Val. Dentes palatini et linguales nulli. Squamae ctenoideae 60 circ. in serie longitudinali.

Eleotrii. Dentes palato linguaque nulli.

a. Dentes utraque maxilla pauci- ad multiseriati.

Odonteleotris Gill. Dentes utraque maxilla 4 anteriores canini, ceteri intermaxillares parvi aequales, inframaxillares posteriores serie interna ceteris longiores.

Eleotris Gron. Dentes utraque maxilla multiseriati parvi aequales, longiores vel canini nulli.

Guavina Blkr. Dentes utraque maxilla multiseriati serie externa longiores, canini nulli.

Oxyeleotris Blkr. Dentes utraque maxilla pauciseriati, intermaxillares serie externa longiores, inframaxillares anteriores serie externa posteriores serie interna conspicue longiores, canini veri nulli. Squamae 60 ad 90. Isthmus mediocris.

Ophiocara Gill. Dentes utraque maxilla pluriseriati, intermaxillares serie externa paulo longiores, inframaxillares anteriores serie externa paulo longiores posteriores aequales vel serie interna paulo longiores, canini nulli. Squamae 28 ad 40. Isthmus angustus.

Mogurnda Gill. Dentes utraque maxilla pauciseriati serie externa conspicue longiores graciles uncinati subaequales, canini nulli.

Culius Blkr. Dentes utraque maxilla pluriseriati, intermaxillares serie externa longiores, inframaxillares anteriores serie externa posteriores serie interna longiores, canini nulli. Spina praeopercularis.

Gobiomorphus Gill. Dentes utraque maxilla multiseriati graciles subaequales, canini nulli. Genae alepidotae. Caput superne squamatum.

Belobranchus Blkr. Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa paulo longiores, canini nulli. Caput alepidotum.

b. Dentes intermaxillares pluriseriati, inframaxillares uniseriati.
Gymneleotris Blkr.

Butii. Dentes utraque maxilla pluriseriati, palato linguaque nulli. Canini nulli.
Butis Blkr. Dentes utraque maxilla aequales conferti. Caput squamatum. Squamae 30.
Gymnobutis Blkr. Dentes utraque maxilla subaequales. Caput alepidotum. Squamae 40.
Prionobutis Blkr. Dentes utraque maxilla serie externa longiores. Caput convexum.
Odontobutis Blkr. Dentes utraque maxilla pauciseriati graciles non conferti serie externa paulo longiores. Cristae rostro occipiteque nullae.

HYPSELEOTRINI. Dentes maxillis pluriseriati parvi serie externa gracillimi mobiles.

Dormitator Gill. Dentes pharyngeales setacei, inferiores serie externa latae flexiles lamellaeformes.
Asterropteryx Rüpp. Dentes pharyngeales subulati, lamellaeformes nulli.

PARELEOTRINI. Dentes maxillis fixi, palato linguaque nulli.

a. Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa longiores, inframaxillaris lateralis posterior caninus. Squamae magnae.
Brachyeleotris Blkr. Squamae ctenoideae. Dentes pharyngeales subulati curvati.
Hetereleotris Blkr. Squamae cycloideae (Genus dubium).
b. Squamae parvae vel minimae. Dentes pharyngeales aciculares.
Valenciennesia Blkr. Dentes intermaxillares uniseriati vel pluriseriati seriebus internis rudimentarii, inframaxillares pluriseriati serie externa longiores inaequales, lateralis posterior caninus. Dentes pharyngeales rectiusculi interdum clavati.
Eleotriodes Blkr. Dentes intermaxillares uniseriati, inframaxillares pluriseriati serie externa longiores inaequales lateralis subposticus caninus curvatus posterioribus multo longior.
Ptereleotris Gill. Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa longiores ex parte caninoidei. Squamae cycloideae.
Orthostomus Kner. Dentes maxillis parvi graciles, antici 4 canini. Squamae ctenoideae.
Oxymetopon Blkr. Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa longiores, antici 2 canini praesymphysiales. Canini insuper inframaxillares 2 postsymphysiales.

GOBIIFORMES. Dentes vomerini nulli.

GOBIODONTINI. Dentes maxillis pluriseriati, fixi, intermaxillares serie externa longiores.

Gobiodon K. V. H. Dentes inframaxillares serie externa longiores, canini inframaxillares postsymphysiales. Corpus alepidotum.

Pseudogobiodon Blkr. Dentes inframaxillares aequales; canini nulli.

Paragobiodon Blkr. Canini inframaxillares postsymphysiales. Corpus squamatum.

GYMNOGOBIINI. Dentes maxillis fixi.

Boreogobius Gill. Dentes utraque maxilla parvi. Spinae dorsi 5. Corpus laeve.

Cristallogobius Gill. Dentes intermaxillares validi, inframaxillares uniseriati ex parte canini. Spinae dorsi 2.

Benthophilus Eichw. Dentes parvi, canini nulli. Spinae dorsi 3. Corpus verrucosum.

Gymnogobius Gill. Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa longiores, canini nulli. Spinae dorsi 6. Caudalis obtusa.

Gobiosoma Gir. Dentes maxillis pauciseriati serie externa longiores, canini nulli. Spinae dorsi 6 vel 7. Caudalis acuta.

Ophiogobius Gill. Dentes maxillis serie externa longiores, canini nulli. Spinae dorsi 8. Caudalis obtusa.

Alepidogobius Blkr. Dentes utraque maxilla serie externa longiores, inframaxillaris lateralis posterior caninus. Spinae dorsi 6.

LATRUNCULINI. Dentes inframaxillares uniseriati.

a. Dentes intermaxillares biseriati.

Latrunculus Günth. Dentes intermaxillares ex parte canini, inframaxillares horizontales et insuper 2 canini postsymphysiales.

b. Dentes intermaxillares uniseriati.

Gobiopterus Blkr. Dentes magni acuti distantes, intermaxillares aequales, inframaxillares inaequales et insuper canini 2 postsymphysiales.

Leptogobius Blkr. Dentes graciles acuti subaequales; canini nulli.

Evorthodus Gill. Dentes recti truncato-emarginati, inframaxillares subhorizontales; canini nulli.

Sicyopus Gill. Dentes gracillimi uncinati simplices mobiles, canini nulli.

TRIAENOPHORICHTHYINI. Dentes maxillis ex parte tricuspidati.

Triaenophorichthys Gill. Dentes maxillis serie externa tricuspidati mobiles, serie interna tricuspidati et simplices.

Triaenopogon Blkr. Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa tricuspidati mobiles, seriebus internis lati submolares conferti.

SICYDIINI. Dentes gingivales vel labiales mobiles.

a. Dentes utraque maxilla biseriati.

Tridentiger Gill. Dentes serie externa elongati apice dilatati tricuspidati, serie interna simplices curvati.

b. Dentes intermaxillares uniseriati confertissimi, inframaxillares biseriati serie externa gracillimi flexiles.

Sicydium Val. Dentes intermaxillares simplices curvati acutissimi, inframaxillares serie interna conici validi inaequales. Cirri inframaxillares.

Sicyopterus Gill. Dentes inframaxillares serie interna validi distantes simplices curvati acuti. Cirri inframaxillares nulli.

Subg. *Sicyopterus* Gill. Dentes intermaxillares non stipitati acuti.

" *Cotylopus* Guich. Dentes intermaxillares apice dilatati bilobi.

" *Sicydiops* Blkr. Dentes intermaxillares stipitati clavati integri.

Microsicydium Blkr. Dentes intermaxillares stipitati clavati obtusi, inframaxillares serie interna parvi aequales.

c. Dentes utraque maxilla uniseriati.

Lentipes Günth. Dentes intermaxillares anteriores tricuspidati, laterales simplices; inframaxillares omnes simplices.

GOBIINI. Dentes maxillis simplices apice nec clavati nec incisi, intermaxillares uni- ad multiseriati, inframaxillares bi- ad multiseriati.

Brachygobii. Canini nulli.

Lophogobius Gill. Dentes utraque maxilla pluriseriati villiformes series externa longiores. Corpus compressum. Squamae ctenoideae.

Brachygobius Blkr. (series dentium non indicatae). Caput depressum. Squamae cycloideae.

Platygobii. Dentes utraque maxilla pluriseriati, canini veri nulli.

Gillichthys Coop. Dentes utraque maxilla villiformes. Squamae parvae cycloideae.

Gobiopsis Steind. Dentes pluriseriati serie externa longiores. Squamae magnae ctenoideae.

Glossogobius Gill. Dentes pluriseriati serie externa longiores curvati non conferti inaequales. Maxilla superior postice non producta.

Platygobius Blkr. Dentes multiseriati, intermaxillares serie externa vix longiores, inframaxillares serie externa non longiores.

Eugobii. Dentes maxillis fixi.

a. Dentes utraque maxilla pluriseriati acuti, utraque maxilla serie externa longiores. Canini nulli.

Gobius. Art. Dentes serie externa subaequales conici. Caudalis obtusa. Squamae ctenoideae. Venter squamatus. Rostrum breve.

Acanthogobius Gill. Dentes serie externa subaequales. Caudalis obtusa. Squamae ctenoideae. Rostrum conicum.

Hypogymnogobius Blkr. Dentes serie externa subaequales. Venter alepidotus.

Eucyclogobius Gill. Dentes serie externa subaequales. Squamae cycloideae, capite nullae.

Lepidogobius Gill. Dentes serie externa subaequales. Squamae cycloideae. Caput squamatum.

Callogobius Blkr. Dentes serie externa graciles subaequales. Caudalis lanceolata. Caput depressum convexum.

Stenogobius Blkr. Dentes serie externa conici subaequales. Caudalis obtuse lanceolata capite longior.

Actinogobius Blkr. Dentes serie externa inaequales. Caudalis acuta capite brevior.

b. Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa longiores, ex parte truncati.

Hemigobius Blkr. Dentes serie externa intermaxillares medii truncati, inframaxillares recti.

c. Dentes utraque maxilla pluriseriati conferti cardiformes serie externa breviores distantes introrsum directi; canini vel caninoidei intermaxillares et inframaxillares postsymphysiales.

Cephalogobius Blkr.

d. Dentes utraque maxilla pluriseriati acuti subaequales, longiores serie externa nulli.

Awaous Val. Squamae 50 ad 60.

Rhinogobius Gill. Squamae 28.

e. Dentes utraque maxilla pluriseriati acuti serie externa longiores, inframaxillaris lateralis posterior caninus curvatus.

Ctenogobius Gill. Caput alepidotum. Squamae 14 ad 30.

Centrogobius Blkr. Dorsales radio anteriore osseo pungente.

Acentrogobius Blkr. Caput squamatum. Dorsales spina nulla.

Porogobius Blkr. Caudalis lanceolata.

Amblygobius Blkr. Squamae 52 ad 56.

Cryptocentrus Ehr. Squamae 85 ad plus quam 100.

f. Dentes utraque maxilla biseriatti acuti.

Zonogobius Blkr. Dentes intermaxillares serie externa, inframaxillares serie interna longiores.

Odontogobius Blkr. Dentes utraque maxilla serie externa longiores, inframaxillaris lateralis posterior caninus.

g. Dentes acuti, intermaxillares uniseriati vel subbiseriati, inframaxillares pluriseriati.

Stigmatogobius Blkr. Dentes intermaxillares uniseriati, inframaxillares serie externa longiores et insuper canini 2 postsymphysiales.

Euctenogobius Gill. Dentes intermaxillares uniseriati, inframaxillares pauciseriati, canini nulli.

Oxyurichthys Blkr. Dentes intermaxillares uniseriati vel subbiseriati serie interna rudimentarii, inframaxillares pluriseriati serie externa longiores, canini nulli. Caudalis lanceolata.

Chaeturichthyi.

Chaeturichthys Rich. Dentes utraque maxilla biseriati serie externa ceteris confertis longiores fixi curvati subulati oblique antrorsum spectantes.

Amblychaeturichthys Blkr. Dentes intermaxillares pauciseriati serie externa longiores fixi subulati rectiusculi, inframaxillares antici triseriati laterales biseriati serie externa longiores rectiusculi mobiles oblique antrorsum directi.

Parachaeturichthys Blkr. Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa ceteris confertis longiores fixi rectiusculi.

Gobionelli. Dentes utraque maxilla pluriseriati.

Synechogobius Gill. Dentes acuti fixi utraque maxilla serie externa longiores.

Gobionellus Gir. Dentes minimi serie externa setacei mobiles.

PERIOPHTHALMINI. Dentes maxillis uni- vel biseriati fixi conici; pharyngeales conici et aciculares.

Periophthalmus Bl.Schn. Dentes utraque maxilla uniseriati ex parte canini, pharyngeales multiseriati plurimi gracillimi aciculares.

Euchoristopus Gill. Dentes utraque maxilla uniseriati, canini nulli; pharyngeales pauciseriati plurimi conici.

Periophthalmodon Blkr. Dentes intermaxillares anteriores biseriati serie externa canini, inframaxillares uniseriati ex parte canini; pharyngeales pauciseriati majore parte validi conici.

APOCRYPTEINI. Dentes utraque maxilla uniseriati, inframaxillares subhorizontales et insuper canini 2 inframaxillares postsymphysiales erecti.

Apocryptei.

Apocryptodon Blkr. Dentes intermaxillares ex parte integri truncati ex parte canini acuti, inframaxillares truncati incisura profunda bilobi.

Paraprocryptes Blkr. Dentes utraque maxilla acuti subulati integri, intermaxillares ex parte canini.

Apocryptes Val. Dentes utraque maxilla apice incisi, canini intermaxillares nulli.

Pseudapocryptes Blkr. Dentes utraque maxilla apice tumidi obtusi non incisi, canini intermaxillares nulli.

Boleophthalmi.

Scartelaos Swns. Dentes intermaxillares anteriores canini subulati curvati inaequales, inframaxillares simplices acuti mediocres.

Boleophthalmus Val. Dentes intermaxillares conici acuti simplices anteriores canini curvati, inframaxillares apice dilatati truncati vel oblique emarginati.

AMBLYOPODIFORMES. Dentes vomero-palatini nulli.

AMBLYOPODINI.

a. Dentes utraque maxilla uniseriati.

Tyntlastes Günth. Dentes parvi subhorizontales; canini nulli.

b. Dentes intermaxillares biseriati, inframaxillares pluriseriati acuti subverticales.

Brachyamblyopus Blkr. Dentes serie externa longiores curvati sat numerosi; canini nulli.

c. Dentes utraque maxilla pluriseriati, serie externa longiores.

Odontamblyopus Blkr. Dentes serie interna obtusiusculi, serie externa acuti curvati canini. Corpus squamatum.

Gobioides Lac. Dentes seriebus internis acuti serie externa acuti curvati canini. Corpus squamatum.

Taenioides Lac. Dentes seriebus internis obtusiusculi, serie externa acuti curvati canini. Corpus alepidotum.

TRYPAUCHENINI. Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa longiores validi acuti, seriebus internis conico-graniformes.

Trypauchen Val. Ventralis integra.

Trypauchenichthys Blkr. Ventralis bipartita.

LUCIOGOBIIFORMES. Dentes maxillis pluriseriati serie externa longiores.

Luciogobius Gill.

CONSPECTUS SYSTEMATIS GOBIOIDEORUM.

Familia **GOBIOIDEI.**

Pisces ossei acanthopterygii, linea laterali tubulosa nulla, spinis dorsalibus omnibus vel 1ª tantum excepta gracilibus flexilibus non pungentibus, pinnis ventralibus unitis vel liberis thoracicis radiis 2 posterioribus ceteris longioribus.

Subfamilia ELEOTRIFORMES.

Gobioidei pinnis dorsalibus 2 distantibus vel basi tantum continuis, ventralibus plane disjunctis lineae ventrali medianae approximatis.

Phalanx ELEOTRINI.

Eleotriformes corpore subelongato vel elongato antice cylindraceo, capite depresso latiore quam alto vel aeque lato ac alto, dentibus intermaxillaribus pluriseriatis; pinnis, dorsali radiosa et anali non elongatis radiis 7 ad 15, caudali obtusa.

Subphalanx *Philypni.*

Eleotrini dentibus vomerinis; dentibus maxillis pluriseriatis, caninis nullis.

PHILYPNODON Blkr.

Dentes palatini et linguales. Dentes inframaxillares intermaxillaribus longiores. Caput alepidotum. Nucha squamata. Squamae ctenoideae 47 circ. in serie longitudinali. D. 7 — 11. A 11.

Spec. typ. *Eleotris nudiceps* Cast.

BOSTRICHTHYS C. Dum., Gill = Bostrychus Lac. = Bostrictis, Ictiopogon Raf.

Dentes palatini et linguales nulli. Caput superne lateribusque squamatum. Squamae cycloideae plus quam 100 in serie longitudinali. Isthmus latus. D. 6 — 11 ad 13. A. 10.

Sp. typ. *Bostrichthys sinensis* C. Dum.

PHILYPNUS Val. = Lembus Günth.

Dentes palatini et linguales nulli. Caput superne lateribusque squamatum. Squamae ctenoideae 55 ad 66 in serie longitudinali. Isthmus valde angustus. D. 6 — 10 vel 11. A. 10 vel 11.

Sp. typ. *Philypnus dormitator* Val.

Subphalanx *Eleotrii.*

Eleotrini palato edentulo, capite superne cristis osseis nudis nullis.

1 *Genera dentibus utraque maxilla pauci-ad multiseriatis.*

ODONTELEOTRIS Gill.

Dentes utraque maxilla quatuor anteriores canini; ceteri, intermaxillares parvi aequales, inframaxillares posteriores serie interna ceteris longiores. Caput superne lateribusque dense squamatum, nullibi spinigerum. Squamae cycloideae 80 ad 100 circ. in serie longitudinali. Isthmus latus. D. 6 — 10 vel 11. A. 9 vel 10.

Sp. typ. *Eleotris macrodon* Blkr.

ELEOTRIS Gron. = Gobiomoroides Lac. = Erotelis Poey?

Dentes utraque maxilla multiseriati parvi aequales, longiores vel canini nulli. Caput superne lateribusque nullibi spinigerum. Squamae trunco ctenoideae 60 circ. in serie longitudinali. Isthmus mediocris. D. 6 — 9. A. 8 vel 9.

Sp. typ. *Eleotris gyrinus* Val.

GUAVINA Blkr.

Dentes utraque maxilla multiseriati serie externa longiores, canini nulli. Caput superne lateribusque dense squamatum nullibi spinigerum. Squamae 100 ad 110 in serie longitudinali, trunco antice cycloideae postice ctenoideae. Isthmus latus. D. 7—11 vel 12. A 11.

Sp. typ. *Eleotris guavina* Val.

OXYELEOTRIS Blkr.

Dentes utraque maxilla pauciseriati, intermaxillares serie externa longiores, inframaxillares anteriores serie externa posteriores

serie interna conspicue longiores, canini veri nulli. Caput superne lateribusque dense squamatum nullibi spiniferum. Squamae trunco ctenoideae 60 ad 90 in serie longitudinali. Isthmus mediocris. D. 6 vel 7 — 9 vel 10. A. 9 vel 10.

Sp. typ. *Eleotris marmorata* Blkr.

Ophiocara Gill.

Dentes utraque maxilla pluriseriati, intermaxillares serie externa paulo longiores, inframaxillares anteriores serie externa longiores posteriores aequales vel serie interna paulo longiores. Caput superne lateribusque dense squamatum, nullibi spiniferum. Squamae trunco ctenoideae 28 ad 40 in serie longitudinali. Isthmus angustus. D. 6 ad 8 — 9 vel 10. A. 8 ad 10.

Sp. typ. *Eleotris ophiocephalus* K. V. H.

Mogurnda Gill.

Dentes utraque maxilla pauciseriati, serie externa ceteris conspicue longiores graciles uncinati subaequales, canini nulli. Caput superne lateribusque dense squamatum, nullibi spinigerum. Squamae trunco ctenoideae 36 ad 50 in serie longitudinali. Isthmus angustus. D. 8—12 ad 15 A. 12 ad 15.

Sp. typ. *Eleotris mogurnda* Rich.

Culius Blkr = Cheilodipterus Ham. Buch.

Dentes utraque maxilla pluriseriati, intermaxillares serie externa longiores, inframaxillares anteriores serie externa posteriores serie interna longiores, canini vel caninoidei nulli. Caput superne dense, lateribus dense vel ex parte squamatum, praeoperculo postice spina deorsum spectante. Squamae trunco ctenoideae 50 ad 65 in serie longitudinali. Isthmus latus. D. 6 — 9 A. 9.

Sp. typ. *Culius fuscus* Blkr = Eleotris nigra QG.

Gobiomorphus Gill.

Dentes utraque maxilla multiseriati graciles subaequales, canini nulli. Caput nullibi spinigerum, vertice et operculis squamatum, fronte, rostro genisque alepidotum. Squamae trunco

ctenoideae 36 ad 43 in serie longitudinali. Isthmus latus. D. 6 vel 7—9 ad 11. A. 8 ad 12.

Sp. typ. *Eleotris gobioïdes* Val.

Belobranchus Blkr.

Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa paulo longiores, canini nulli. Caput ubique alepidotum, radio branchiostego superiore vel subsuperiore inferne spina antrorsum spectante. Squamae ctenoideae 70 circ. in serie longitudinali. Isthmus latus. D. 6 — 8 A. 8.

Sp. typ. *Belobranchus Quoyi* Blkr.

2. *Genera dentibus intermaxillaribus pluriseriatis, inframaxillaribus uniseriatis.*

Gymneleotris Blkr.

Dentes inframaxillares antici quatuor longiores curvati. Caput alepidotum, nullibi spinigerum. Squamae parvae, trunco antice nullae. D. 7 — 11. A. 9.

Sp. typ. *Eleotris seminudus* Günth.

Subphalanx *Butii.*

Eleotrini capite superne cristis osseis laevibus vel serratis, palati edentulo, dentibus utraque maxilla pluriseriatis, fissuris branchialibus usque sub oculo extensis isthmo angusto separatis, squamis trunco ctenoideis.

Butis Blkr.

Dentes maxillis pluriseriati aequales parvi conferti, longiores nulli. Caput prismaticum aeque altum circ. ac latum, valde acutum, superne planum squamatum, cristis osseis rostro et fronte laevibus vel vix scabris. Squamae trunco 28 ad 30 in serie longitudinali. D. 6 — 8 vel 9. A. 8 vel 9.

Sp. typ. *Butis butis* Blkr.

gymnobutis Blkr.

Dentes maxillis pluriseriati subaequales, canini nulli. Caput prismaticum, aeque altum circ. ac latum, valde acutum, ubique

alepidotum. Squamae 40 circ. in serie longitudinali. D. 7—10. A. 10.
Sp. typ. *Eleotris gymnocephalus* Steind.

Prionobutis Blkr.

Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa longiores, canini nulli. Caput convexum obtusiusculum squamatum, cristis osseis rostro, supra-orbitalibus et fronto-occipitalibus serratis. Squamae 30 circ. in serie longitudinali. D. 6 — 9. A. 8 vel 9
Sp. typ. *Eleotris dasyrhynchus* Günth.

Odontobutis Blkr.

Dentes utraque maxilla pauciseriati graciles non conferti serie externa paulo longiores, canini nulli. Caput depressum acutum latius quam altum cristis interorbitalibus tantum evolutis laevibus, superne lateribusque squamatum. Squamae 40 circ. in serie longitudinali. D. 7 — 9 vel 10. A. 8 vel 9.
Sp. typ. *Eleotris obscura* Schl.

Phalanx Hypseleotrini.

Eleotriformes corpore oblongo brevi compresso; capite compresso altiore quam lato, squamato, superne cristis osseis nullis, palato edentulo; dentibus maxillis pluriseriatis parvis, caninis nullis; squamis trunco magnis; dorsali radiosa et anali non elongatis, caudali obtusa.

Dormitator Gill.

Dentes maxillis minimi multiseriati serie externa gracillimi mobiles, pharyngeales minimi setacei, inferiores serie externa laminas verticales confertas oblongas apice rotundatas horizontaliter extrorsum directas mobiles efficientes. Maxillae aequales. Squamae trunco ctenoideae 30 ad 35 in serie longitudinali. Papilla analis oblongo-ovalis. Isthmus angustus. D. 7 vel 8—9 ad 11. A. 10 vel 11.
Sp. typ. *Dormitator lineatus* Gill.

Asterropteryx Rüpp. = Priolepis Ehr. = Hypseleotris Gill.

Dentes maxillis parvi gracillimi serie externa ceteris paulo ad multo longiores mobiles; pharyngeales graciles subulati subae-

quales, compressi laminaeformes horizontales nulli. Maxilla inferior prominens. Isthmus angustus. Squamae trunco 23 ad 28 in serie longitudinali. Papilla analis oblongo-quadrata compressa. B. 6. D. 6 vel 7—10 ad 12. A. 10 ad 12.

Sp. typ. *Asterropteryx semipunctatus* Rüpp.

Phalanx Pareleotrini.

Eleotriformes corpore subelongato vel elongato compresso; capite convexo compresso altiore quam lato, cristis osseis nudis vel spinis nullis; dentibus maxillis fixis immobilibus, vomerinis nullis, pharyngealibus subulatis acicularibus.

1. *Genera squamis magnis pinnis dorsali 2ª et anali non elongatis.*

Brachyeleotris Blkr.

Dentes; maxillis pluriseriati serie externa ceteris longiores, inframaxillaris lateralis posterior caninus; pharyngeales subulati curvati. Corpus oblongo-subelongatum, capite obtuso convexo squamato vel alepidoto, maxillis aequalibus. Squamae trunco ctenoideae 25 circ. in serie longitudinali. Isthmus latus. Pinnae dorsales contiguae subaequilongae, caudalis obtusa rotundata. B. 6. D. 6—10 ad 13. A. 9 ad 12.

Sp. typ. *Eleotris cyanostigma* Blkr.

Hetereleotris Blkr. (Genus dubium).

Dentes maxillis pluriseriati serie externa longiores, inframaxillaris lateralis posterior caninus. Corpus elongatum, capite obtuso convexo alepidoto. Squamae trunco nullae vel cycloideae 30 in serie longitudinali. D. 6—12 vel 13. A. 11.

Sp. typ. *Gobius diadematus* Rüpp.

2. *Genera squamis parvis vel minimis, pinnis dorsali 2ª et anali non elongatis, corpore mediocriter compresso et elongato, capite alepidoto, dorsalibus contiguis.*

VALENCIENNESIA Blkr = Valenciennea Blkr = Calleleotris Gill.

Dentes intermaxillares uniseriati vel pluriseriati seriebus internis rudimentariis, inframaxillares pluriseriati serie externa conspicue longiores inaequales, lateralis posterior caninus. Dentes pharyngeales aciculares rectiusculi apice subuncinati, interdum clavati. Caput obtusum vel obtusiusculum. Maxillae subaequales. Squamae sessiles, ctenoideae, 70 ad 95 in serie longitudinali. Isthmus valde latus. Pinnae, dorsalis radiosa spinosa multo minus duplo longior, caudalis obtusa rotundata vel lanceolata. B. 5. D. 6 — 13 ad 18. A. 13 ad 18.

Sp. typ. *Eleotris strigata* Val.

ELEOTRIODES Blkr.

Dentes intermaxillares uniseriati; inframaxillares pluriseriati serie externa longiores inaequales, lateralis subposterior caninus curvatus posterioribus multo longior. Dentes pharyngeales aciculares apice subuncinati. Caput acutiusculum. Maxillae subaequales. Squamae cycloideae deciduae minimae, 130 circ. serie longitudinali. Isthmus latus. Pinnae, dorsales basi continuae radiosa spinosa multo minus duplo longior, caudalis obtusa. B. 5. D. 6—12 vel 13. A. 12 vel 13.

Sp. typ. *Eleotriodes Helsdingenii* Blkr.

3. *Genera squamis minimis, pinnis dorsali 2ª et anali elongatis radiis* 30 *fere ad plus quam* 30, *corpore elongato valde compresso.*

PTERELEOTRIS Gill.

Dentes maxillis pluriseriati serie externa longiores ex parte caninoidei, pharyngeales aciculares rectiusculi apice subuncinati. Caput acutiusculum alepidotum. Rictus obliquus. Squamae trunco cycloideae, plus quam 100 in serie longitudinali. Isthmus latus. Dorsales non contiguae, radiosa spinosa duplo vel plus duplo longior. Caudalis truncato-emarginata. B. 4. D. 6—28 ad 31. A. 27 ad 31. V. 1/5.

Sp. typ. *Eleotris microlepis* Blkr.

ORTHOSTOMUS Kner.

Dentes maxillis parvi graciles, antici 4 canini. Caput obtusum truncatum superne squamatum. Rictus subverticalis. Squamae trunco ctenoideae parvae. Isthmus angustus. Dorsales subcontiguae, radiosa spinosa plus duplo longior. Caudalis obtusa convexa. B. 6. D. 6—30. A. 30. V. 1/4.

Sp. typ. *Orthostomus amblyopinus* Kner.

OXYMETOPON Blkr.

Dentes maxillis pluriseriati serie externa ceteris longiores, antici 2 canini praesymphysiales. Canini insuper inframaxillares 2 postsymphysiales. Dentes pharyngeales aciculares apice vix curvati. Corpus maxime compressum. Caput obtusum vertice elevato carinaeformi squamato. Rictus valde obliquus. Squamae ctenoideae deciduae, 100 circ. in serie longitudinali. Isthmus angustus. Dorsales subcontiguae, radiosa spinosa plus duplo longior. Caudalis lanceolata. B. 5. D. 6—32. A. 32. V. 1/4.

Sp. typ. *Oxymetopon typus* Blkr.

Subfamilia GOBIIFORMES.

Gobioidei pinnis dorsalibus 2 distantibus vel basi tantum continuis, ventralibus in pinnam unicam integram vel medio postice plus minusve incisam unitis, dentibus vomerinis vel palatinis nullis.

Phalanx GOBIODONTINI.

Gobiiformes corpore oblongo-ovato compresso; capite valde obtuso alepidoto, rictu brevi curvato, dentibus maxillis pluriseriatis simplicibus fixis; aperturis branchialibus non infra basin pectoralium extensis; pinnis, dorsalibus contiguis vel basi continuis, posteriore et anali brevibus, ventrali integra basi tantum ventri adnata, caudali obtusa. B. 4. D. 6 — 9 ad 11. A. 9 vel 10.

1. *Genera corpore alepidoto, capite valde compresso, plus duplo altiore quam lato.*

GOBIODON K. V. H.

Dentes utraque maxilla serie externa ceteris longiores, inframaxillares canini 2 vel 4 postsymphysiales. Corpus ovale.

Sp. typ. *Gobiodon histrio* K. V. H. et Gobiodon heterospilus Blkr.

PSEUDOGOBIODON Blkr.

Dentes intermaxillares serie externa ceteris longiores, inframaxillares aequales, canini postsymphysiales nulli. Corpus ovale.

Sp. typ. *Gobius citrinus* Rüpp.

2. *Genera corpore squamato, capite crasso minus duplo altiore quam lato.*

PARAGOBIODON Blkr.

Dentes utraque maxilla serie externa ceteris longiores, inframaxillares canini 2 postsymphysiales. Corpus oblongo-ovale. Squamae ctenoideae 22 circ. in serie longitudinali.

Sp. typ. *Gobius melanosoma* Blkr = Gobius gobiodon Day?

Phalanx GYMNOGOBIINI.

Gobiiformes corpore elongato alepidoto, capite depresso, dentibus fixis, ventrali integra basi tantum ventri adnata, caudali obtusa.

1. *Genera pinnis dorsalibus valde distantibus, capite acuto lato depresso, rictu magno, caudali obtusa convexa, isthmo lato.*

BENTHOPHILUS Eichw. — Hexacanthus Nordm.

Dentes parvi, canini nulli. Corpus capite et trunco verrucis sparsis scabris. Maxilla inferior prominens. Aperturae branchiales valde parvae breves. D. 3 — 9. A. 9.

Sp. typ. *Benthophilus macrocephalus* Eichw.

GYMNOGOBIUS Gill.

Dentes maxillis pluriseriati serie externa ceteris longiores, canini nulli. Corpus nullibi verrucosum. Maxilla inferior non prominens. Aperturae branchiales amplae. B. 5. D. 6 — 13 vel 14. A. 11 vel 12.

Sp. typ. *Gobius macrognathus* Blkr.

2. *Genera pinnis dorsalibus approximatis, capite convexo, rictu parvo, caudali convexa.*

GOBIOSOMA Gir.

Dentes maxillis pauciseriati serie externa longiores, canini nulli. Caudalis acuta. Caput obtusum convexum. D. 6 vel 7—11 ad 14. A. 10 ad 12.

Sp. typ. *Gobiosoma molestum* Gir.

OPHIOGOBIUS Gill.

Dentes maxillis serie externa longiores, canini nulli. Caput acutum depressum latius quam altum. Caudalis obtusa rotundata. D. 8—17. A. 14.

Sp. typ. *Gobius ophicephalus* Jen.

ALEPIDOGOBIUS Blkr.

Dentes maxillis serie externa longiores, inframaxillares lateralis posterior caninus. Caput valde obtusum. D. 6—11. A. 10.

Sp. typ. *Gobiosoma fasciatum* Plfr.

3. *Genera pinnis dorsalibus valde distantibus, capite acuto, rictu valde obliquo, pinna caudali emarginata, isthmo gracili, maxilla inferiore prominente. B.* 5.

BOREOGOBIUS Gill.

Dentes utraque maxilla parvi. Dorsalis 2ª et analis mediocres non elongatae. D. 5—12 vel 13. A. 14 vel 15.

Sp. typ. *Gobius Stuvitzii* Düb. Kor.

CRISTALLOGOBIUS Gill.

Dentes intermaxillares validi, inframaxillares uniseriati ex parte canini. Dorsalis 2ª et analis elongatae. D. 2—19 ad 21. A. 20 ad 22.

Sp. t. *Gobius Nilssoni* Düb. Kor.

Phalanx LATRUNCULINI.

Gobiiformes corpore subelongato vel elongato, squamis mediocribus vel magnis, aperturis branchialibus mediocribus isthmo lato

separatis, dentibus maxilla inferiore uniseriatis; pinnis, dorsalibus distantibus radiosa elongata, ventrali integra basi tantum ventri adnata, caudali obtusa.

1. *Genera dentibus utraque maxilla uniseriatis, rictu valde obliquo.*

GOBIOPTERUS Blkr.

Dentes maxillis magni acuti distantes intermaxillares aequales, inframaxillares inaequales. Canini insuper inframaxillares 2 postsymphysiales. Caput alepidotum compressum rictu subverticali. Squamae 25 ad 36 in serie longitudinali. B. 4. D. 5 vel 6 — 8 vel 9. A. 8 ad 14.

Sp. typ. *Apocryptes brachypterus* Blkr.

LEPTOGOBIUS Blkr.

Dentes graciles acuti subaequales, canini nulli. Caput alepidotum compressiusculum, rictu obliquo. Squamae ctenoideae 25 circ. in serie longitudinali. Pinnae dorsalis 2ª et analis acutae subtriangulares. B. 4. D. 5 — 8 vel 9. A. 13 ad 15.

Sp. typ. *Gobius oxypterus* Blkr.

SICYOPUS Gill.

Dentes utraque maxilla uniseriati gracillimi uncinati simplices mobiles, canini nulli. Caput obtusum convexum alepidotum. Squamae ctenoideae 32 circ. serie longitudinali. B. 4. D. 6 — 10 vel 11. A. 10 vel 11.

Sp. typ. *Sicydium zosterophorum* Blkr.

EVORTHODUS Gill.

Dentes utraque maxilla recti apice truncato-emarginati, inframaxillares subhorizontales, canini nulli. Caput crassum truncatum superne squamatum. Squamae trunco ctenoideae, 32 circ. in serie longitudinali D. 6—11 vel 12. A. 11 vel 12.

Sp. typ. *Evorthodus breviceps* Gill.

2 *Genera dentibus intermaxillaribus biseriatis, inframaxillaribus uniseriatis.*

LATRUNCULUS Günth. = Aphya Risso? = Brachyochirus Nardo (nec Brachirus Swns.).

Dentes intermaxillares ex parte canini; inframaxillares horizontales, canini insuper 2 postsymphysiales erecti. Caput depressum acutiusculum alepidotum. Squamae cycloideae, 25 circ. in serie longitudinali. B. 5. D. 5—12 vel 13. A. 13 vel 14.

Sp. typ. *Latrunculus albus* Günth.

Phalanx TRIAENOPHORICHTHYINI.

Gobiiformes corpore subelongato, squamis ctenoideis, capite conico-prismatico, dentibus maxillis ex parte tricuspidatis, isthmo interbranchiali lato; pinnis, dorsalibus distantibus, posteriore et analis brevibus, ventrali integra basi tantum ventri adnata, caudali obtusa.

TRIAENOPHORICHTHYS Gill = Triaenophorus Gill.

Dentes maxillis serie externa tricuspidati mobiles, serie interna tricuspidati et simplices. Praeoperculum et maxilla inferior cirris nullis. Squamae mediocres, 55 circ. in serie longitudinali. D. 6—12 vel 13. A. 12.

Sp. typ. *Triaenophorichthys trigonocephalus* Gill.

TRIAENOPOGON Blkr.

Dentes utraque maxilla pluriseriati seriebus internis lati obtusi conferti submolares, serie externa tricuspidati mobiles; pharyngeales subulati simplices. Cirri praeoperculo maxillaque inferiore plures uniseriati. Squamae magnae, 35 circ. in serie longitudinali. B. 4. D. 6—11. A. 11.

Sp. typ. *Triaenophorichthys barbatus* Günth.

Phalanx SICYDIINI.

Gobiiformes corpore subelongato vel elongato antice cylindraceo; capite obtuso convexo, dentibus maxillis ex parte gingivalibus vel labialibus mobilibus, isthmo interbranchiali lato; pinnis, ventrali integra orbiculari disco centrali lato ventri adnata radiis multifi-

dis brevibus circa discum radiantibus, caudali obtusa; squamis ctenoideis vel nullis.

1. *Genera corpore squamato, dentibus maxillis biseriatis.*

TRIDENTIGER Gill.

Dentes maxillis serie externa elongati apice dilatati tricuspidati, serie interna simplices curvati. Squamae mediocres. D. 6 — 11. A. 10 vel 11.

Sp. typ. *Sicydium obscurum* Schl.

2 *Genera corpore squamato, dentibus intermaxillaribus uniseriates gracillimis confertissimis, inframaxillaribus biseriatis, serie externa gracillimis flexilibus.*

SICYDIUM Val.

Dentes intermaxillares simplices curvati acutissimi, inframaxillares serie interna conici validi inaequales. Caput superne squamatum. Maxilla inferior antice lateribusque cirris carnosis. Squamae parvae, 85 circ. in serie longitudinali. B. 4. D. 6 — 11 vel 12. A. 11 vel 12.

Sp. typ. *Sicydium Plumieri* Val.

SICYOPTERUS Gill.

Dentes intermaxillares simplices acuti vel stipitati apice tumidi truncati vel bilobi, inframaxillares serie interna validi distantes inaequales curvati simplices acuti, serie externa aciculares; pharyngeales aciculares. Caput non vel superne tantum squamatum. Maxilla inferior cirris nullis. Squamae trunco mediocres vel parvae, 50 ad 80 in serie longitudinali. B. 4. D. 6 vel 7 — 11 vel 12. A. 11.

Sp. typ. *Sicydium Stimpsoni* Gill.

Subgen. *Sicyopterus* Gill. Dentes intermaxillares acuti non stipitati apice nec tumidi nec incisi. Sp. typ. *Sicydium Parvei* Blkr.

〃 *Cotylopus* Guich. Dentes intermaxillares stipitati apice dilatati incisura profunda bilobi. Sp. typ. *Cotylopus acutipinnis* Guich.

Subgen. *Sicydiops* Blkr. Dentes intermaxillares apice dilatati clavati integri. Sp. typ. *Sicydium xanthurus* Blkr.

MICROSICYDIUM Blkr.

Dentes intermaxillares stipitati apice clavati obtusi, inframaxillares serie interna parvi aequales, serie externa aciculares. Maxilla inferior cirris nullis. Squamae capite et trunco antice nullae, lateribus 40 circ. in serie longitudinali. B. 4. D. 5—10 vel 11. A. 11 vel 12.

Sp. typ. *Sicydium gymnauchen* Blkr.

3. *Genera corpore plane alepidoto, dentibus utraque maxilla uniserialis.*

LENTIPES Günth. = Sicyogaster Gill (nec Bris.)

Dentes intermaxillares anteriores tricuspidati, laterales simplices, inframaxillares omnes simplices. D. 6—11. A. 10.

Sp. typ. *Sicyogaster concolor* Gill.

Phalanx GOBIINI.

Gobiiformes corpore oblongo, subelongato vel elongato, capite inter et ante oculos alepidoto, dentibus maxillis simplicibus apice nec clavatis nec incisis, intermaxillaribus uni-ad multiseriatis, inframaxillaribus bi-ad multiseriatis; pinnis, dorsali spinosa radiosa breviore, ventrali integra basi tantum ventri adnata; aperturis branchialibus mediocribus vel amplis.

Subphalanx a. *Brachygobii.*

Gobiini corpore brevi oblongo altitudine 4 circ. in ejus longitudine, squamis magnis, dentibus caninis nullis, pinnis dorsali radiosa et anali brevibus, caudali obtusa convexa, dorsali spinis 6.

LOPHOGOBIUS Gill.

Dentes utraque maxilla pluriseriati villiformes serie externa

longiores. Corpus compressum. Caput compressum latius quam altum. Squamae ctenoideae, 25 ad 30 in serie longitudinali. Dorsales contiguae. B. 5. D. 6 — 8 ad 10. A. 8 ad 10.

Sp. typ. *Gobius crista galli* Val.

Brachygobius Blkr.

Dentes (series non indicatae). Caput depressum latius quam altum, crista occipito-nuchali nulla. Squamae cycloideae, 27 circ. in serie longitudinali, nucha et thorace inferne nullae. Dorsales distantes. D. 6 — 8. A. 8.

Sp. typ. *Gobius Doriae* Günth.

Subphalanx b. *Platygobii.*

Gobiini corpore elongato, altitudine 6 ad 9 in ejus longitudine, antice cylindraceo; capite valde depresso latiore quam alto, acuto; dentibus utraque maxilla pluriseriatis; rictu magno; dorsali radiosa et anali brevibus, caudali obtusa, dorsali anteriore spinis 6.

Gillichthys Coop. = Gillia Günth.

Dentes utraque maxilla villiformes, canini nulli. Maxillae antice aequales, superior usque post suboperculum producta. Squamae cycloideae parvae cute quasi immersae, capite ventreque nullae. Aperturae branchiales breves isthmo lato separatae. Oculi parvi. D. 6 — 13. A. 11.

Sp. typ. *Gillichthys mirabilis* Coop.

Gobiopsis Steind.

Dentes maxillis pluriseriati serie externa longiores, canini nulli. Maxillae, superior longe post oculum desinens, inferior prominens. Squamae capite superne tantum, trunco magnae ctenoideae 33 circ. in serie longitudinali. Aperturae branchiales sub gula extensae. Isthmus angustus. Oculi parvi. D. 6 — 11. A. 10.

Sp. typ. *Gobiopsis macrostomus* Steind.

Glossogobius Gill.

Dentes maxillis pluriseriati, serie externa longiores non conferti curvati, canini veri nulli. Denter pharyngeales pluriseriati graciles cur-

vati inaequales. Maxillae, inferior prominens, superior non producta. Squamae capite superne tantum, trunco magnae ctenoideae, 20 ad plus quam 40 in serie longitudinali. Aperturae branchiales amplae. Isthmus angustus. Oculi mediocres. B. 4. D. 6 — 9 ad 11. A. 8 ad 10. (charact. ex parte e *Gob. giuris* Ham. Buch. aliisque sumpti.)

Sp. typ. *Gobius platycephalus* Rich. (nec Peters nec Kessl.)

PLATYGOBIUS Blkr.

Dentes maxillis multiseriati, intermaxillares serie externa vix longiores inframaxillares serie externa longiores; pharyngeales multiseriati graciles vix curvati. Maxillae, inferior superiore paulo brevior, superior non producta. Squamae capite occipite tantum, trunco ctenoideae vel ctenoideae et cycloideae, 60 ad 65 in serie longitudinali. Aperturae branchiales amplae. Isthmus latus. Oculi mediocres. B. 5. D. 6 — 11 vel 12. A. 11 vel 12.

Sp. typ. *Gobius macrorrhynchus* Blkr.

Subphalanx c. *Eugobii.*

Gobiini corpore elongato altitudine 5 ad 9 circ. in ejus longitudine, capite obtuso vel obtusiusculo altiore quam lato ad paulo latiore quam alto; cirris maxilla inferiore nullis; rictu mediocri vel parvo; caudali integra obtusa vel acuta; dentibus maxillis fixis.

1. *Genera dentibus utraque maxilla pluriseriatis intermaxillaribus serie externa ceteris longioribus, caninis nullis.*

GOBIUS Art. = Pomatoschistus Gill = Deltentosteus Gill = Coryphopterus Gill.

Dentes utraque maxilla serie externa longiores conici acuti curvati subaequales. Corpus antice cylindraceum capite aeque alto ac lato ad latiore quam alto, convexo vel convexiusculo. Squamae ctenoideae magnae, mediocres vel parvae. Venter ante et post pinnam ventralem squamatus. Isthmus latus. Pinna caudalis obtusa capite non longior.

Sp. typ. *Gobius niger* L.

Genus valde complexum, probabiliter compositum, speciebus numerosissimis magna parte non satis cognitis in genera pluria distribuendis.

Subgenera sequentia provisoria proponuntur.

Subgen. GOBIUS Art. = Pomatoschistus Gill.

Caput ubique alepidotum. Squamae 40 ad 70 in serie longitudinali. Pinna dorsalis radiosa spinosa minus duplo longior. D. 6 vel 7 — 8 ad 14.

Sp. typ. *Gobius niger* L. [1]).

Subgen. CORYPHOPTERUS Gill.

Caput ubique alepidotum, obtusum, convexum. Squamae 20 ad 35 in serie longitudinali. Pinnae dorsales non contiguae, radiosa spinosa multo minus duplo longior. D. 6 ad 8—8 ad 14.

Sp. typ. *Coryphopterus glaucofrenum* Gill.

Subgen. MESOGOBIUS Blkr.

Caput superne vel superne et operculis squamatum. Squamae 35. ad plus quam 70 in serie longitudinali. Dorsales basi continuae vel subcontiguae, radiosa spinosa multo ad plus duplo longior. D. 6—11 ad 21.

Sp. typ. *Gobius batrachocephalus* Pall.

Subgen. DELTENTOSTEUS Gill.

Caput superne squamatum. Squamae 20 ad 35 in serie longitudinali. Dorsales distantes vel contiguae, radiosa spinosa multo minus duplo longior. D. 6—8 ad 12.

Sp. typ. *Gobius quadrimaculatus* Val.

STENOGOBIUS Blkr.

Dentes utraque maxilla serie externa longiores conici acuti

---

[1]) Gobius niger L. non est Gobius niger plurium auctorum. Species cum diagnosi Artediana plane congruens, maria septentrionalia habitans, capite aeque alto ac lato, rostro convexo obtuso, fronte, vertice nuchaque plane alepidotis, sulco mediano fronto-dorsali valde conspicuo, formula pinnarum = D. 6—1/13. A. 1/13. P. 17, coloribusque variegatis bene a speciebus affinibus distincta.

curvati subaequales. Corpus compressum, capite compresso altiore quam lato, obtuso, convexo. Squamae ctenoideae magnae vel mediocres. Venter ante et post pinnam ventralem squamatus. Isthmus latus. Pinna caudalis obtuse vel acutiuscule lanceolata capite longior. B. 4. D. 6—11 ad 13.

Sp. typ. *Gobius gymnopomus* Blkr.

Subgenus Stenogobius Blkr.

Caput superne squamatum. Squamae trunco 45 ad 55 in serie longitudinali.

Sp. typ. *Gobius gymnopomus* Blkr.

Subgenus Oligolepis Blkr.

Caput ubique alepidotum. Squamae trunco 25 ad 28 in serie longitudinali.

Sp. typ. *Gobius melanostigma* Blkr.

Subgenus Gnatholepis Blkr.

Caput superne lateribusque squamatum. Squamae trunco 26 circ. in serie longitudinali.

Sp. typ. *Gobius anjerensis* Blkr.

Callogobius Blkr.

Dentes utraque maxilla serie externa longiores curvati graciles, subaequales. Corpus antice cylindraceum, capite depresso convexo latiore quam alto, superne lateribusque squamato. Squamae ctenoideae 50 circ. in serie longitudinali. Venter ante et post pinnam ventralem squamatus. Isthmus latus. Ventrales membrana valde tenui unitae, basi membrana interspinali rudimentaria. Caudalis lanceolata. B. 4. D. 6—10 ad 12. A. 9 vel 10.

Sp. typ. *Eleotris Hasseltii* Blkr.

Hypogymnogobius Blkr.

Dentes utraque maxilla serie externa longiores acuti. Squamae ctenoideae 50 circ. in serie longitudinali, capite, nucha et ventre ante et post pinnam ventralem nullae. Caput latum convexum. Isthmus latus. Pinnae dorsales distantes, radiosa spinosa multo minus duplo

longior. Caudalis obtusa capite brevior. B. 4. D. 6—10. A. 10.
Sp. typ. *Gobius xanthozona* Blkr.

HEMIGOBIUS Blkr.

Dentes utraque maxilla serie externa longiores, intermaxillares medii truncati, inframaxillares recti. Squamae ctenoideae, 20 circ. in serie longitudinali. Caput acutum superne lateribusque squamatum. Venter squamatus. Isthmus latus. Dorsales distantes Pinnae dorsalis radiosa spinosa multo minus duplo longior, caudalis obtusa capite brevior. B. 4. D. 6 — 9 A. 9.

Sp. typ. *Gobius melanurus* Blkr.

EUCYCLOGOBIUS Gill.

Dentes utraque maxilla serie externa longiores acuti. Squamae cycloideae parvae, capite nullae. Caput obtusum convexum. Pinnae; ventralis sub pectoralibus inserta, dorsales contiguae radiosa spinosa minus duplo longior, caudalis obtusa capite non longior. B. 5. D. 7 vel 8—13.

Sp. typ. *Gobius Newberri* Gir.

LEPIDOGOBIUS Gill = Cyclogobius Steind.

Dentes utraque maxilla serie externa longiores acuti. Squamae cycloideae parvae. Caput superne lateribusque squamatum. Dorsalis radiosa spinosa plus duplo longior. Ventralis post pectorales inserta. Caudalis obtusa. B. 5. D. 7 — 20. A. 17.

Sp. typ. *Lepidogobius gracilis* Gill = Gobius gracilis Girard (nec Jenyns).

ACTINOGOBIUS Blkr.

Dentes utraque maxilla serie externa longiores inaequales acuti. Squamae ctenoideae 70 circ. in serie longitudinali. Caput aeque latum circ. ac altum, convexum, superne alepidotum, genis operculisque ex parte squamatum. Dorsales distantes, posterior anteriore duplo longior. Caudalis acute rotundata capite brevior. D. 9 — 19 vel 20. A. 16 ad 18.

Sp. typ. *Gobius ommaturus* Rich.

ACANTHOGOBIUS Gill.

Dentes utraque maxilla serie externa longiores acuti. Squamae ctenoideae, 60 circ. in serie longitudinali. Caput superne lateribusque squamatum, rostro convexo oculo longiore. Isthmus latus. Dorsales contiguae, radiosa spinosa duplo circ. longior. Caudalis obtusa capite brevior. B. 4. D. 8 — 14 vel 15. A. 13 vel 14.

Sp. typ. *Gobius flavimanus* Schl. [1]).

2. *Genera dentibus utraque maxilla pluriseriatis confertis cardiformibus serie externa brevioribus distantibus introrsum directis; caninis vel caninoideis intermaxillaribus et inframaxillaribus postsymphysïalibus.*

CEPHALOGOBIUS Blkr.

Squamae 38 circ. in serie longitudinali. Caput elongatum, altius quam latum, acutum. Pinna caudalis acutiuscula. B. 5. D. 6 — 9. A. 9.

Sp. typ. *Gobius sublitus* Cant.

3. *Genera dentibus utraque maxilla pluriseriatis acutis subaequalibus serie externa erectis ceteris non longioribus, caninis nullis.*

AWAOUS Val.

Squamae ctenoideae, 50 ad 60 in serie longitudinali. Caput superne squamatum, rostro convexo. Isthmus latus. Dorsales distantes, radiosa spinosa minus duplo longior. Caudalis obtusa vel obtusiuscula. B. 5. D. 6 — 11 ad 13. A. 11 vel 12.

Sp. typ. *Gobius ocellaris* Brouss.

RHINOGOBIUS Gill. = Chonephorus Poey.

Squamae 28 circ. in serie longitudinali. Caput convexum rostro conico. D. 6 — 9 vel 10. A. 9 vel 10.

Sp. typ. *Rhinogobius similis* Gill.

---

[1]) Adde Gen. incertum e *Gobio chiloënsi* Val., Acanthogobio affine forma corporis et capitis numeroque spinarum et radiorum dorsalium analiumque ut et formula squamarum sed caudali sat profunde emarginata. Gen. *Heterogobius* Blkr.

4. *Genera dentibus utraque maxilla pluriserialis acutis, serie externa longioribus, inframaxillari laterali posteriore canino.*

Ctenogobius Gill.

Squamae ctenoideae 14 ad 30 in serie longitudinali. Caput obtusum convexum alepidotum, praeoperculo inermi. Nucha squamis nullis. Isthmus latus. Dorsales spina pungente nulla, radiosa spinosa multo minus duplo longior. Caudalis obtusa capite brevior. B 4 vel 5. D. 5 vel 6 — 10 vel 11. A. 9 ad 11.

Sp. typ. *Ctenogobius fasciatus* Gill.

Centrogobius Blkr = Oplopomus Steind. (nec Gir.).

Squamae ctenoideae 28 ad 30 in serie longitudinali. Caput et corpus compressa. Caput obtusum convexum superne squamatum, praeoperculo dente unico vel duplice armatum. Isthmus latus. Dorsales distantes radio anteriore spinaeformi valido osseo pungente, radiosa spinosa multo minus duplo longior. Caudalis obtusa capite brevior. B. 4. D. 6 — 10 ad 12. A. 11 vel 12.

Sp. typ. *Gobius notacanthus* Blkr.

Acentrogobius Blkr.

Squamae ctenoideae 25 ad 35 in serie longitudinali. Corpus antice cylindraceo-compressum. Caput compressum obtusum convexum squamatum, praeoperculo inermi. Isthmus latus. Dorsales spina pungente nulla, radiosa spinosa multo minus duplo longior. Caudalis obtusa capite brevior. B. 4. D. 6 — 11 ad 13. A. 11 ad 13.

Sp. typ. *Gobius chlorostigma* Blkr.

Porogobius Blkr.

Squamae ctenoideae 28 ad 45 in serie longitudinali. Caput compressum obtusum convexum superne squamatum vel alepidotum, praeoperculo inermi. Isthmus latus. Dorsales spina pungente nulla, radiosa spinosa minus duplo longior. Caudalis lanceolata acuta. B. 4. D. 6—10 vel 11. A. 10 vel 11.

Sp. typ. *Gobius Schlegeli* Günth.

AMBLYGOBIUS Blkr.

Squamae ctenoideae, 52 ad 56 in serie longitudinali. Corpus compressum. Caput compressum obtusum convexum superne squamatum, praeoperculo inermi. Isthmus latus. Dorsales spina pungente nulla, radiosa spinosa minus duplo longior. Caudalis obtusa capite brevior. B. 4. D. 6—14 ad 16. A. 15 vel 16.

Sp. typ. *Gobius sphinx* Val.

CRYPTOCENTRUS Ehr. = Paragobius Blkr.

Caninus inframaxillaris lateralis magnus mediocris vel rudimentarius. Squamae cycloideae vel ctenoideae 85 ad plus quam 100 in serie longitudinali. Caput compressum obtusum convexum alepidotum. Aperturae branchiales amplissimae isthmo angusto separatae. Dorsales spina pungente nulla, radiosa spinosa multo ad duplo longior. Caudalis capite longior obtusa vel lanceolata. B. 4. D. 6—11 ad 20. A. 10 ad 21.

Sp. typ. *Gobius cryptocentrus* Val.

PTEROGOBIUS Gill.

(Dentitio non satis cognita, sed dentes pluriseriati serie externa longiores, — an et canini parvi?). Caput compressum convexum obtusum superne squamatum. Squamae minimae plus quam 100 in serie longitudinali. Dorsales contiguae spina pungente nulla, radiosa spinosa duplo longior. Caudalis obtusa capite brevior. D. 8—21 ad 28. A. 20 ad 27.

Sp. typ. *Gobius virgo* Schl.

(Genus sequens quoad series dentium non satis cognitum, an sectioni 1ae vel 2ae adnumerandum.)

CHAENOGOBIUS Gill.

Dentes maxillis mediocres subcylindrici curvati. Corpus mediocriter elongatum, squamis cycloideis parvis. Caput subconicum, alepidotum, rostro brevi, rictu magno, maxillis aequalibus. Nucha linea mediana tantum squamata. Dorsales non contiguae, radiosa brevis. Caudalis obtusa capite brevior. D. 6—9. A. 8.

Sp. typ. *Chaenogobius annularis* Gill.

5. *Genera dentibus utraque maxilla biseriatis acutis.*

ZONOGOBIUS Blkr.

Dentes intermaxillares serie externa, inframaxillares serie interna longiores, canini nulli. Squamae ctenoideae 30 circ. in serie longitudinali. Caput compressum obtusum convexum alepidotum. Dorsales subcontiguae, radiosa spinosa paulo longior. Caudalis obtusa. D. 6—11. A. 9.

Sp. typ. *Gobius semifasciatus* Kner.

ODONTOGOBIUS Blkr.

Dentes utraque maxilla serie externa longiores, inframaxillaris lateralis posterior caninus. Squamae ctenoideae 60 ad 70 in serie longitudinali. Caput compressum obtusum convexum superne squamatum. Isthmus latus. Dorsales subcontiguae, radiosa spinosa multo sed minus duplo longior. Caudalis obtusa capite brevior. B. 4. D. 6—14 ad 17. A. 15 ad 17.

Sp. typ. *Gobius bynoënsis* Rich.

6. *Genera dentibus acutis intermaxillaribus uniseriatis vel subbiseriatis, inframaxillaribus pluriseriatis.*

STIGMATOGOBIUS Blkr.

Dentes intermaxillares uniseriati, inframaxillares serie externa longiores et insuper canini 2 postsymphysiales. Corpus subelongatum compressum, squamis ctenoideis 30 circ. in serie longitudinali. Caput obtusum compressum convexum superne lateribusque squamatum. Isthmus latus. Pinnae, dorsales distantes radiosa spinosa paulo longior, caudalis obtusa. B. 4. D. 6—9. A. 10.

Sp. typ. *Gobius pleurostigma* Blkr.

EUCTENOGOBIUS Gill.

Dentes intermaxillares uniseriati, inframaxillares pauciseriati, canini nulli. Corpus elongatum compressum, squamis ctenoideis 50 ad 60 in serie longitudinali. Caput convexum compressum superne tantum squamatum. Dorsales non contiguae, radiosa spi-

nosa multo sed minus duplo longior. Caudalis obtusa. B. 4. D. 6—11 vel 12. A. 10 vel 11.

Sp. typ. *Euctenogobius badiis* Gill.

Oxyurichthus Blkr = Gobiichthys Klunz.

Dentes intermaxillares uniseriati vel subbiseriati serie interna rudimentarii, inframaxillares pluriseriati serie externa longiores; canini nulli. Corpus elongatum compressum, squamis ctenoideis vel cycloideis 40 ad 90 in serie longitudinali. Caput compressum obtusum convexum regione temporali tantum squamatum. Linea nuchae mediana alepidota. Isthmus latus. Pinnae; dorsales contiguae, radiosa spinosa duplo longior, caudalis lanceolata capite longior. B. 4. D. 6—11 ad 15. A. 14 vel 15.

Sp. typ. *Oxyurichthys belosso* Blkr.

Subphalanx d. *Chaeturichthyi.*

Gobiini corpore elongato, altitudine 8 ad 9 in ejus longitudine, antice cylindraceo; capite convexo nec depresso nec compresso, superne lateribusque squamato; dentibus caninis nullis; maxilla inferiore pluricirrato; caudali obtuse vel acute lanceolata capite longiore.

Chaeturichthys Rich.

Dentes maxillis biseriati serie externa ceteris confertis setaceis longiores fixi acuti curvati subulati oblique antrorsum spectantes. Caput obtusiusculum, rostro convexo, maxilla inferiore utroque ramo cirris 3. Squamae cycloideae 53 circ. in serie longitudinali. Dorsalis radiosa dorsali spinosa triplo circiter longior. Caudalis acute lanceolata. B. 5. D. 8—23 vel 24. A. 20 vel 21.

Sp. typ. *Chaeturichthys stigmatias* Rich.

Amblychaeturichthus Blkr.

Dentes intermaxillares pauciseriati serie externa conspicue longiores fixi subulati rectiusculi, inframaxillares antici triseriati laterales biseriati serie externa longiores rectiusculi mobiles oblique

antrorsum directi. Dentes pharyngeales setacei. Caput obtusum rostro valde convexo, maxilla inferiore utroque ramo cirris 3. Squamae ctenoideae 40 circ. in serie longitudinali, ciliis valde deciduis. Dorsalis radiosa spinosa duplo longior. Caudalis obtusiuscule rotundata. Isthmus angustus. B. 5. D. 8—17 vel 18. A. 14 ad 16.

Sp. typ. *Chaeturichthys hexanema* Blkr.

PARACHAETURICHTHYS Blkr.

Dentes utraque maxilla pluriseriati acuti serie externa ceteris confertis longiores fixi rectiusculi, pharyngeales conici et setacei. Caput obtusum convexum, maxilla inferiore utroque ramo cirris pluribus. Squamae ctenoideae 30 circ. in serie longitudinali. Dorsalis radiosa spinosa minus duplo longior. Caudalis obtuse lanceolata. Isthmus latus. B. 4 (nec 3 ut in descriptione speciei typicae). D. 6—11. A. 10.

Sp. typ. *Chaeturichthys polynema* Blkr.

Subphalanx e. *Gobionelli.*

Gobiini corpore valde elongato, altitudine 10 ad 14 in ejus longitudine; capite non depresso obtuso, convexo, squamato, genis alepidoto; maxilla inferiore cirris nullis; pinnis, dorsali radiosa elongata dorsali spinosa triplo circ. longiore, caudali lanceolata. Isthmus latus. Dentes canini nulli.

SYNECHOGOBIUS Gill.

Dentes maxillis pluriseriati acuti fixi, serie externa longiores. Caput superne tantum squamatum, rostro oculo multo longiore. Squamae 100 circ. in serie longitudinali. Dorsales distantes. D. 8 vel 9—20. A. 17.

Sp. typ. *Gobius hasta* Schl.

GOBIONELLUS Gir. = Samaragdus Poey.

Dentes maxillis pluriseriati minimi serie externa setacei mobiles. Caput superne operculisque squamatum, rostro obtuso brevi. Squamae ctenoideae 70 circ. in serie longitudinali postrorsum magnitudine valde accrescentes. Dorsales contiguae. D. 6 vel 7—14. A. 15.

Sp. typ. *Gobius lanceolatus* Bl. (Sp. typ. Girardiana *Gobionellus hastatus* non satis cognita).

Phalanx Periophthalmini.

Gobiiformes corpore elongato antice cylindraceo, capite valde convexo truncato compresso superne lateribusque dense squamato, oculis erectilibus superne cute lata mobili squamata inferne palpebra lata libera protectis, cute rostro-suborbitali pendula; dentibus maxillis uni-vel biseriatis conicis fixis, pharyngealibus ex parte acicularibus ex parte conicis; squamis cycloideis; pinnis dorsalibus longitudine subaequalibus [1]) anteriore flabelliformi, pectoralibus longibrachiatis valde squamatis, caudali oblique rotundata, ventrali integra vel profunde bipartita. B. 5.

Periophthalmus Bl. Schn.

Dentes utraque maxilla uniseriati ex parte canini; pharyngeales multiseriati plurimi aciculares gracillimi. Ventrales dimidio basali tantum unitae. Squamae valde parvae, 95 circ. in serie longitudinali. D. 11 vel 12—12 ad 14. A. 11 vel 12.

Sp. typ. *Periophthalmus papilio* Bl. Schn.

Euchoristopus Gill.

Dentes utraque maxilla uniseriati, canini nulli; pharyngeales pauciseriati plurimi conici. Ventrales dimidio basali tantum unitae. Squamae parvae, 60 ad 100 circ. in serie longitudinali. D. 10 ad 15—12 ad 14. A. 11 ad 14.

Sp. typ. *Periophthalmus Koelreuteri* Val.

Periophthalmodon Blkr.

Dentes intermaxillares anteriores biseriati serie externa canini, inframaxillares uniseriati ex parte canini, pharyngeales pauciseriati majore parte conici validi. Ventrales basi tantum vel membrana tenui laxa totae unitae, radiis pinnis unitis 2 mediis

[1]) Sec. Valenciennes in Periophthalmo Freycineti Val. spinis 4 tantum, an forsan statu abnormali, vel species generis proprii.

quam radiis ceteris magis distantibus. Squamae mediocres, 50 ad 60 in serie longitudinali. D. 10 ad 15—12 vel 13. A. 12 vel 13.

Sp. typ. *Periophthalmus Schlosseri* Val.

Phalanx Apocrypteini.

Gobiiformes corpore elongato, capite compressiusculo obtuso convexo superne antice lateribusque dense squamato, dentibus maxillis uniseriatis inframaxillaribus subhorizontalibus. Dentes insuper canini 2 inframaxillares postsymphysiales. Squamae corpore parvae cycloideae. Dorsalis radiosa elongata spinosa plus duplo ad plus triplo longior. Ventralis integra subinfundibuliformis basi tantum ventri adnata. Isthmus latus. B. 5.

Subphalanx a. *Apocryptei.*

Apocrypteini caudali lanceolata, oculis vix vel non erectilibus palpebra libera nulla, pinna dorsali spinosa non altiore quam longa.

Apocryptodon Blkr.

Dentes intermaxillares ex parte integri truncati ex parte canini acuti, inframaxillares truncati incisura profunda bilobi. Squamae 40 ad 50 in serie longitudinali, deciduae. Dorsales subcontiguae, radiosa spinosa minus triplo longior. D. 6 — 23. A. 22 vel 23.

Sp. typ. *Apocryptes madurensis* Blkr.

Parapocryptes Blkr.

Dentes utraque maxilla acuti subulati integri, intermaxillares ex parte canini. Squamae 75 circ. in serie longitudinali, deciduae. Dorsales contiguae, radiosa spinosa triplo longior. D. 6—26 ad 30. A. 26 ad 29.

Sp. typ. *Apocryptes macrolepis* Blkr.

Apocryptes Val. = Gobileptes Swns.

Dentes utraque maxilla apice incisi, intermaxillares canini nulli. Squamae 100 circ. in serie longitudinali, sessiles. Dorsales contiguae, radiosa spinosa triplo fere longior. D. 5 — 21. A. 22.

Sp. typ. *Apocryptes bato* Val.

PSEUDAPOCRYPTES Blkr.

Dentes utraque maxilla apice tumidi obtusi non incisi, intermaxillares canini nulli. Squamae minimae, 200 circ. in serie longitudinali. Dorsales distantes, radiosa spinosa quadruplo circ. longior. D. 5 — 28 ad 31. A. 26 ad 30.

Sp. typ. *Apocryptes lanceolatus* Cant.

Subphalanx b. *Boleophthalmi.*

Apocrypteini caudali lanceolata vel oblique rotundata, oculis erectilibus cute supraorbitali mobili, cute infraorbitali palpebram latam liberam efficiente; dorsalibus distantibus, anteriore altiore quam longa.

BOLEOPHTHALMUS Val.

Dentes intermaxillares conici acuti simplices anteriores canini curvati, inframaxillares apice dilatati truncati vel oblique emarginati. Squamae 60 ad plus quam 100 in serie longitudinali. Dorsales distantes, spinosa altior quam longa, radiosa spinosa plus duplo ad triplo longior. D. 5 — 24 ad 28. A. 24 ad 26.

Sp. typ. *Boleophthalmus Boddaerti* Val.

SCARTELAOS Swns. = Boleops Gill.

Dentes intermaxillares anteriores canini subulati curvati inaequales, inframaxillares acuti simplices mediocres. Squamae minimae, sparsae, capite et trunco antice vix conspicuae. Dorsales distantes, spinosa plus triplo altior quam longa, radiosa spinosa plus quintuplo longior. D. 5 vel 6—25 ad 27. A. 24 ad 26.

Sp. typ. *Boleophthalmus viridis* Val.

Subfamilia AMBLYOPODIFORMES.

Gobioidei pinnis verticalibus unitis, dorsali unica valde elongata parte spinosa brevi forma non vel vix distincta, oculis minimis vel inconspicuis, isthmo lato, squamis cycloideis vel nullis.

Phalanx Amblyopodini.

Amblyopodiformes corpore valde elongato, fossa posttemporali nulla, ventrali integra, basi tantum ventri adnata. B. 5.

Tyntlastes Günth.

Dentes utraque maxilla uniseriati parvi subhorizontales, canini nulli. Corpus elongatum altitudine 10 circ. in ejus longitudine. Maxilla inferior cirris nullis, antice non truncata. Squamae minimae imbricatae. Caudalis basi tantum cum dorsali et anali unita D. 6—21. A. 21.

Sp. typ. *Amblyopus* (*Tyntlastes*) *sagitta* Günth.

Brachyamblyopus Blkr.

Dentes utraque maxilla acuti subverticales, serie externa ceteris longiores curvati, canini nulli; intermaxillares biseriati, inframaxillares pluriseriati. Corpus elongatum altitudine 9 ad 10 in ejus longitudine, capite compresso non latiore quam alto obtuso convexo, oculis minimis. Maxilla inferior cirris nullis. Squamae parvae cute quasi immersae. Caudalis tota cum dorsali et anali unita. B. 5. D. 6/29 ad 6/32. A. 28 ad 34.

Sp. typ. *Amblyopus brachysoma* Blkr.

Gobioides Lac. = Ognichodes Swns.

Dentes utraque maxilla acuti pluriseriati, seriebus internis minimi, serie externa mediocres vix curvati numerosi, canini vel caninoidei nulli, inframaxillares postsymphysiales crassiores nulli; pharyngeales minutissimi setacei numerosissimi. Corpus elongatum valde compressum altitudine 11½ ad 14 in ejus longitudine. Capite compressum multo altius quam latum obtusum convexum, oculis parvis conspicuis. Maxilla inferior antice non truncata inferne cirris nullis. Lingua libera truncata. Squamae trunco 150 circ. in serie longitudinali, anteriores minimae posteriores majores imbricatae. Pinna caudalis basi tantum cum dorsali et anali unita. B. 5. D. 6/17. A. 17.

Sp. typ. *Gobioides Broussoneti* Lac.

Odontamblyopus Blkr.

Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa ceteris pluritoties longiores acuti subulati curvati canini, seriebus internis conici obtusiusculi, inframaxillares postsymphysiales 2 conici crassi ceteris majores; pharyngeales minutissimi setacei numerosissimi. Corpus elongatum compressiusculum altitudine 10 ad 12 in ejus longitudine, capite altiore quam lato obtuso convexo, oculis vix conspicuis. Maxilla inferior antice non truncata inferne cirris nullis. Lingua libera truncata. Squamae minimae cute immersae. Pinna caudalis basi tantum cum dorsali et anali unita. B. 5. D. 6/34 ad 6/40. A. 33 ad 38.

Sp. typ. *Gobioides rubicundus* Ham. Buch.

Taenioides Lac. = Amblyopus Val. = Psilosomus Swns.

Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa longiores acuti canini curvati, seriebus internis conici obtusiusculi. Corpus valde elongatum, altitudine 12 ad plus quam 25 in ejus longitudine. Oculi inconspicui vel subinconspicui. Maxilla inferior inferne cirris cutaneis, antice truncata. Squamae plane nullae. Pinna caudalis basi cum dorsali et anali unita. D. 6/43 ad 6/50. A. 45 ad 49.

Sp. typ. *Taenioides Hermannianus* Lac.

Phalanx Trypauchenini.

Amblyopodiformes corpore et capite valde compressis, fossa posttemporali profunda, squamis deciduis parvis, ventrali integra vel profunde incisa basi tantum ventri adnata. B. 4.

Trypauchen Val.

Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa longiores acuti validi seriebus internis conico-graniformes. Crista occipitalis laevis. Squamae 100 circ. in serie longitudinali. Ventralis integra. D. 6/41 ad 6/49. A. 40 ad 46. V 1/5. 5/1.

Sp. typ. *Trypauchen vagina* Val.

TRYPAUCHENICHTHYS Blkr = Ctenotrypauchen Steind.

Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa longiores acuti validi, seriebus internis conico-graniformes. Crista occipitalis scabra. Squamae 50 ad 65 in serie longitudinali. Ventralis incisura profunda subbipartita. D. 6/50 ad 6/59 A. 45 ad 51 V. 1/4.4/1.

Sp. typ. *Trypauchenichthys typus* Blkr.

Subfamilia LUCIOGOBIIFORMES.

Gobioidei corpore elongato alepidoto pinna dorsali unica brevi caudae quam capite propiore parte spinosa distincta nulla, ventralibus totis unitis.

LUCIOGOBIUS Gill.

Dentes utraque maxilla pluriseriati serie externa ceteris longiores. Corpus valde elongatum, altitudine 12 ad 13 in ejus longitudine. Caput depressum, oculis parvis. B. 4. D. 2/12. A. 12. V. 1/5.5/1.

Sp. typ. *Luciogobius guttatus* Gill.

Hagae Comitis, Calendis Maii 1874.

ADDENDA.

Genus in Systemate Gobioideorum omissum.

LOPHIOGOBIUS Günth.

Dentes utraque maxilla biseriati, serie externa ceteris longiores distantes subhorizontales; canini nulli. Squamae crenulatae, 38 circ. in serie longitudinali. Caput depressum latum. Maxilla inferior cirris nullis. Dorsales non continuae, radiosa spinosa multo longior, spinosa spina anteriore rigida pungente. Caudalis elongata acuta. D. 7—17. A. 17.

Spec. typ. *Lophiogobius ocellicauda* Günth.

(Genus quoad dentitionem generibus Zonogobio et Odontogobio affine).

SUR L'INFLUENCE QUE LA NATURE

DE LA

MEMBRANE EXERCE SUR L'OSMOSE ÉLECTRIQUE,

PAR

Th. W. ENGELMANN.

Dans mon travail sur les glandes cutanées de la grenouille [1]), j'étais arrivé à la conclusion que les forces électromotrices, qui sont la cause des courants de la peau, ont leur siége principalement dans la couche extérieure contractile de l'épithélium glandulaire, et que, dans les glandes elles-mêmes, ces forces sont en général dirigées à travers la paroi vers la cavité de l'organe. Par l'étude des rapports existant entre les actions électromotrices et les actions sécrétoires des glandes, j'avais en outre acquis la conviction que les forces, qui poussent le produit de la sécrétion à travers l'épithélium de la glande dans sa cavité, ne sont autres que les forces électromotrices dont il vient d'être question. Comme, au pôle supérieur des glandes, les courants électriques retournent de la cavité dans les cellules musculaires, et que par suite il doit se produire ici une action cataphorique de direction contraire, c'est-à-dire de dedans en dehors, ma théorie de la sécrétion impliquait la supposition que les forces électromotrices entraînent plus facilement le liquide des cellules de l'épithélium dans la cavité de la glande, qu'elles ne le ramènent de cette cavité

---

[1]) *Onderzoek, gedaan in het physiol. labor. der Utrechtsche Hoogeschool*, 3e sér., t. II, 1873, p. 1 et suiv.

dans les cellules musculaires. Cette supposition eût été purement gratuite si les conditions qui influencent la sortie du liquide, de la cavité dans les cellules musculaires, avaient été les mêmes que celles qui règlent son entrée, de l'épithélium dans la cavité de la glande. Mais tel n'était nullement le cas: au pôle supérieur des glandes, les courants électriques, pour retourner, passent directement de la cavité dans les extrémités des fibres musculaires [1]; la couche épithéliale intérieure manque en ce point. Au contraire, pour pénétrer dans la cavité, les courants ont partout à traverser cette couche épithéliale interne. Or cette couche, en ce qui concerne l'entrée et la sortie de liquides aqueux par voie osmotique ordinaire, offre une résistance incomparablement plus petite que les fibres musculaires des glandes, ainsi que me l'ont appris, entre autres, les changements de volume, relativement très rapides et très considérables, qu'éprouvent les cellules épithéliales à la moindre variation du degré de concentration du milieu ambiant. Par analogie, on était donc autorisé à supposer que le mouvement électro-osmotique du liquide rencontrerait également, de la part des cellules épithéliales non contractiles, une résistance beaucoup plus faible que de la part des fibres musculaires.

Il semble toutefois, — je dois l'inférer de quelques objections faites à mon hypothèse [2], — que l'on n'accorde pas généralement l'exactitude de la supposition en question, et que l'on conserve des doutes au sujet de l'influence considérable que la structure des membranes exercerait sur l'action osmotique des courants qui les traversent. Bien que, en principe, la réalité de cette influence me paraisse à peine avoir besoin d'être démontrée expérimentalement, j'ai pourtant voulu étudier d'un peu plus près la relation entre la nature des membranes et les actions électro-osmotiques, d'autant plus que la littérature de la science ne fournit encore rien sur cette matière.

Les expériences exécutées jusqu'ici, et surtout les recherches de

---

[1]) l. c. p. 208.

[2]) Hermann; *Archiv für die Physiologie etc. herausgeg. von* E. Pflüger, t. VI, 1872, p. 559. — Bernstein, *Centralblatt für die medic. Wissensch.*, 1873.

M. Wiedemann [1]), avaient établi que la quantité de liquide, qu'un courant électrique fait passer en un temps déterminé à travers une cloison poreuse (d'argile), est directement proportionnelle à l'intensité du courant électrique, qu'elle est en général d'autant plus grande que le liquide oppose plus de résistance à la transmission du courant, et que, toutes choses égales d'ailleurs, elle est indépendante de la surface et de l'épaisseur de la cloison.

Pour montrer l'influence que la nature de la cloison, c'est-à-dire sa structure intime, exerce sur l'action osmotique du courant, j'ai eu recours à deux sortes d'expériences.

Dans le premier cas (Méthode A) j'observais et mesurais les variations de niveau du liquide dans un espace compris entre deux cloisons ou membranes de structure différente. Un pareil osmomètre différentiel ne met pas seulement en évidence directe le fait de l'osmose électrique, mais aussi l'influence spécifique de la membrane, et par l'ascension ou la dépression du liquide, rattachée à la direction du courant électrique, il montre à travers laquelle des deux membranes l'osmose électrique se fait avec le plus de facilité. — Dans le second cas (Méthode B), un courant électrique d'intensité déterminée, maintenue constante à l'aide d'un rhéostat, traversait des membranes de structure différente, et on mesurait ou bien la quantité de liquide qui, sous l'influence de ce courant, passait en un temps déterminé, ou bien le temps qui était nécessaire pour le passage d'une quantité déterminée de liquide.

L'osmomètre différentiel, employé dans les expériences d'après la méthode A, se compose de:

1°. La pièce centrale ou l'auge, plaque de caoutchouc dur à faces planes et parallèles (épaisse de 8 mm., haute de 62 mm. et large de 42 mm.), qui est percée en son milieu d'une ouverture cylindrique de 30 mm. de diamètre. Cette ouverture communique par un canal cylindrique de 4 mm. de largeur, qui s'élève verticalement dans l'épaisseur de la plaque, avec une courte douille en laiton, sur laquelle peuvent être vissés, de manière à

---

[1]) Wiedemann, *in* Poggendorff's *Annal.*, t. 87. 1852, p. 321 sqq.. t. 99, 1856, p. 177 sqq.

ne pas laisser échapper de liquide, divers tubes, manomètres, etc.

2°. Deux flacons en verre, à section carrée et à col rond, hauts d'environ 8 cm. et larges de 42 mm., dont une des faces latérales est dressée à l'émeri et percée d'une ouverture ronde de 30 mm. de diamètre. A l'intérieur, au-devant de chaque ouverture, se trouve une électrode discoïdale en platine, fixée à un fil de platine, qui est scellé dans le verre, près du bord, et qui aboutit extérieurement à une borne, destinée à recevoir le fil de la pile.

Quand on veut procéder à l'expérience, les deux membranes ou plaques poreuses, qu'il s'agit de comparer, sont appliquées sur les deux côtés de l'ouverture de la pièce centrale, puis celle-ci est placée entre les deux flacons en verre, qui peuvent alors être serrés l'un contre l'autre au moyen de deux pinces en laiton. — Lorsqu'on opère sur des cloisons non élastiques (des plaques d'argile, par ex.), il faut, bien entendu, pour éviter les ruptures et les fuites, les garnir sur chaque face latérale d'un cadre élastique, par exemple d'un anneau de vessie humide. — Les membranes organiques minces et très flexibles, telles que la peau de grenouille, la membrane de la vessie etc., doivent être bien tendues, de manière à offrir une surface lisse et à ne pouvoir s'infléchir même lorsqu'il se produit une grande différence de pression aux deux côtés. Il faut aussi que leur forme et leur position ne puissent pas éprouver de changement sensible par suite du gonflement ou de la rétraction auxquels pourrait donner lieu l'action de certains produits d'électrolyse. A cet effet, je les plaçais entre deux petites plaques de caoutchouc durci parfaitement planes, épaisses de 1,5 mm., hautes de 60 mm. et larges de 42 mm., qui au milieu, dans un champ circulaire de 30 mm. de diamètre, étaient percées, à la façon d'un crible, de nombreux trous cylindriques. La largeur de ces trous était de 2 mm., la distance de leurs axes en moyenne de 3 mm. Maintenue entre deux pareilles plaques, la membrane la plus flexible se comporte à peu près comme une cloison complétement rigide.

Dans les expériences exécutées d'après la méthode B, la pièce centrale était supprimée, et la membrane se trouvait par conséquent

placée directement entre les deux flacons en verre. Du flacon qui contenait la cathode, le liquide entraîné par le courant pouvait s'écouler, par un tube en forme de siphon, dans un petit verre calibré.

Les autres dispositions étaient les mêmes dans les deux méthodes. Dans le circuit conducteur étaient intercalés une clef, un commutateur, un rhéostat de Siemens et Halske (allant jusqu'à 10000 S. E.) et un galvanomètre gradué vertical. Le courant était fourni par une pile zinc-charbon de Stöhrer (2 à 40 éléments), ou par une série de petits éléments de Grove unis à la file l'un de l'autre.

Les membranes et les cloisons poreuses, qui servirent aux expériences, étaient les suivantes: vessie de bœuf et de cochon fraîche ou bouillie, membrane musculeuse et membrane muqueuse de l'estomac, muscles abdominaux, cartilages, foie et poumon de divers mammifères, peau de grenouille et d'anguille, lamelles de différentes espèces de bois, tranches de pommes de terre et de carottes crues ou cuites, plaquettes d'argile diverses.

Comme la quantité de liquide entraîné dépend de la nature de ce liquide, on employait, dans toutes les expériences appartenant à une même série, le même liquide (eau, solution de sel marin à 0,02 – 0,5 $^0/_0$), et on avait soin, avant de commencer l'expérience, de parfaitement imbiber du liquide les membranes ou les cloisons qu'on voulait étudier. Pour cela, les membranes étaient ordinairement soumises à une immersion préalable, pendant plusieurs heures ou plusieurs jours, dans un très grand volume du liquide en question. On ne faisait d'exception à cette règle que pour les membranes très minces (la peau de grenouille par ex.), lorsqu'on voulait déterminer leur perméabilité électro-osmotique dans des conditions aussi normales que possible.

J'ai veillé tout spécialement à ce que les phénomènes ne fussent pas troublés par des actions d'électrolyse. Celle-ci, en effet, peut exercer une influence de différentes manières. En premier lieu, en donnant naissance à des courants osmotiques ordinaires, qui nécessairement s'ajoutent algébriquement au flux électro-osmotique. Ces courants seront aisément reconnus à ce qu'ils ne com-

mencent que quelque temps après la fermeture du circuit et persistent aussi quelque temps après l'ouverture.

Pour les prévenir, j'ai toujours opéré avec des courants électriques aussi faibles que possible, en général avec des courants qui, en cinq minutes, dégageaient tout au plus 1 cm. cube du mélange détonant d'oxygène et d'hydrogène. La quantité du liquide dans lequel plongeaient les électrodes était aussi toujours très grande comparativement à la quantité des ions mis en liberté, et, en outre, la plus petite distance entre l'électrode et la cloison était dans tous les cas de plus de 5 mm., ordinairement de 6—10 mm.; la composition chimique du liquide au voisinage immédiat de la membrane, surtout pendant les premières minutes après la fermeture du circuit, pouvait donc à peine varier, d'autant moins, que les produits non gazeux de l'électrolyse étaient chassés vers le haut par les bulles de gaz qui s'élevaient de la surface des électrodes. Dans quelques cas, surtout lorsque l'expérience devait se continuer pendant plusieurs heures, le liquide des deux flacons a aussi été renouvelé de temps en temps. Là où il s'agissait d'observer des actions électro-osmotiques faibles, par exemple, de comparer dans l'osmomètre différentiel des membranes organiques à structure presque semblable, je n'ai tenu compte que de l'effet produit pendant les premières minutes ou les premières secondes après la fermeture du circuit. De cette manière, on est entièrement à l'abri de l'immixtion des courants osmotiques ordinaires, comme j'ai pu d'ailleurs le constater par le fait que chaque fois, au moment même de l'ouverture, l'action osmotique cessait complétement. — J'ai en outre fait des expériences de contrôle avec l'osmomètre différentiel, en laissant le circuit ouvert, et en rendant le liquide d'un des flacons fortement acide par l'acide chlorhydrique, celui de l'autre fortement alcalin par la soude. Lorsque l'auge était fermée par deux membranes animales ou végétales (peau de grenouille, rondelles de pomme de terre ou de bois), et remplie d'eau ou de solution de sel marin à 0,02—0,5%), le niveau du liquide dans l'auge ne variait pas sensiblement pendant les cinq premières minutes, — mais si l'on fermait le circuit, le niveau changeait immé-

diatement, dans le sens positif ou négatif, suivant la direction du courant galvanique. L'auge communiquait dans ces expériences avec un tube en verre horizontal, de 0,8 mm. de diamètre intérieur, muni d'une échelle divisée en millimètres. Une augmentation ou une diminution de volume du liquide contenu dans l'auge, lors même qu'elle ne s'élevait qu'à 0,3 mm. cub., pouvait donc encore être facilement observée.

L'électrolyse peut, en second lieu, exercer une influence par le changement qu'elle apporte à la composition du liquide aux deux côtés de la cloison, en tant que la quantité de liquide entraînée par voie électro-osmotique dépend de la composition du liquide (voir ci-dessus). Par chaque section transversale, sur le trajet du courant, il ne passera pas alors, toutes choses égales d'ailleurs, la même quantité de liquide. Cette influence perturbatrice pourra surtout se faire sentir dans l'osmomètre différentiel. Si à l'anode, par exemple, le liquide est modifié de telle façon qu'il soit plus facilement entraîné par le courant que celui qui occupe l'auge, il pénétrera trop de liquide dans ce réservoir, et par suite la perméabilité électro-osmotique de la cloison située du côté de l'anode, — nous l'appellerons, pour abréger, la cloison positive, — devra être trouvée trop grande.

Enfin, en troisième lieu, — et c'est là le point le plus important de tous, — il pourra arriver que par l'action des ions, surtout de celui du liquide qui pénètre en partant de l'anode, les propriétés de la membrane, et notamment sa perméabilité électro-osmotique spécifique, se trouvent modifiées. Cette influence pourra s'exercer dans le mêmc sens que les deux autres, ou bien en sens opposé, question qui ne se laisse pas toujours décider à priori.

Les difficultés provenant de ces deux dernières sources d'erreurs ont également été évitées en faisant choix de courants aussi faibles que possible et en restreignant l'observation aux premiers instants aprés la fermeture du circuit.

Il va sans dire qu'on a toujours eu soin de maintenir, autant que possible, la même pression sur les deux faces des membranes. — Dans toutes les expériences appartenant à une même série,

la température resta à peu près la même. Pour les expériences faisant partie de séries différentes, elle ne varia non plus que dans les limites ordinaires de la température d'appartement, savoir, 14—18° C. Entre ces limites, aucune influence décidée de la température sur l'osmose électrique ne put être constatée.

Les expériences ont mis hors de doute la proposition suivante: *La nature de la cloison a une influence importante sur l'osmose électrique.*

Si l'on entend par *constante de la perméabilité électro-osmotique* la quantité de liquide qu'un courant de l'intensité 1 fait passer dans l'unité de temps à travers une membrane ou une cloison (à une température déterminée), le résultat énoncé peut se traduire ainsi: *la constante de la perméabilité dépend de la nature de la membrane.*

Ce fait général se laisse démontrer le plus facilement à l'aide de l'osmomètre différentiel, en fermant l'auge de celui-ci par deux cloisons différentes, et observant alors la position du liquide dans un tube de verre étroit horizontal, vissé sur l'auge, et accompagné d'une échelle (méthode A).

Presque toujours on voit alors, aussitôt que le circuit est fermé, le liquide monter ou descendre dans le tube, et le sens du mouvement se renverser quand on renverse le courant lui-même. On peut aussi laisser s'écouler le liquide de l'auge, par un tube recourbé en siphon, dans un petit vase calibré ou pesé (méthode A′).

Je donnerai ici les résultats de quelques expériences.

Expériences d'après la méthode A.

La première colonne du tableau I indique le numéro d'ordre de l'expérience; la deuxième et la troisième, la nature des deux cloisons; le quatrième, la direction du courant électrique par rapport aux deux cloisons; la cinquième, l'écart permanent de l'aiguille galvanométrique, tel qu'il était observé pendant l'expérience; la sixième, le nombre de millimètres dont le liquide baissait (↓) ou montait (↑) dans le tube abducteur de l'auge; la septième, le temps nécessaire pour produire cet effet; la huitième,

enfin, la quantité de liquide trouvée par l'expérience, réduite à 1 minute de temps et à l'unité d'intensité, cette unité étant l'intensité du courant qui en 1 minute dégage 1 cm. cube de gaz explosif en agissant sur l'acide sulfurique à 1 °/₀. — Le tube dans lequel on observait l'ascension et la dépression du liquide de l'auge avait dans les expériences n°. 1—7 un diamètre intérieur de 0,8 mm., et dans les expériences 8—11 un diamètre de 2,3 mm.

TABLEAU I.

Expériences 1—7. L'osmomètre est rempli d'eau de pompe.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
1 a	Plaque d'argile No. 1	Plaque d'argile No. 4	→	10°	50 ↑	4.0	3868
1 b	″	″	←	10°	50 ↓	4.0	3868
2 a	Plaque d'argile No. 2	Plaque d'argile No. 4	→	10°	50 ↑	5.6	2693
2 b	″	″	←	10°	50 ↓	5.6	2693
2 c	″	″	→	10°	50 ↑	5.6	2693
2 d	″	″	←	10°	50 ↓	5.8	2606
3 a	Plaque d'argile No. 3	Peau de grenouille	→	10°	100 ↑	12.0	2512
3 b	″	″	←	10°	100 ↓	12.0	2512
4 a	Plaque d'argile No. 4	Peau de grenouille	→	10	100 ↑	15.0	2010
4 b	″	″	←	10°	100 ↓	15.0	2010
5 a	Peau de grenouille (vieille de 4 jours)	Peau de grenouille fraîche	→	20°	20 ↑	12.4	242
5 b	″	″	→	20°	20 ↑	11.6	262
5 c	″	″	→	20°	20 ↑	10.8	278
5 d	″	″	→	20°	20 ↑	11.0	274
6 a	Peau de grenouille (vieille de 2 jours)	Peau de grenouille fraîche	←	20°	3 ↓	10.0	45
6 b	″	″	→	20°	3 ↑	9.0	50
7 a	Tranche de pomme de terre	Peau de grenouille	→	20°	6 ↑	60.0	15
7 b	″	″	←	20°	6 ↓	60.0	15

Expériences 8—11. L'osmomètre est rempli de $Na\ Cl$ 0,05 %.

8 a	Plaque d'argile No. 1	Cartilage	→	26°	20 ↑	6.5	2552
8 b	"	"	←	26°	20 ↓	6.5	2552
9 a	Plaque d'argile No. 1	Tranche de pomme de terre	→	35°	20 ↑	14.0	715
9 b	"	"	←	35°	20 ↓	14.0	715
10	Plaque d'argile No. 1	Lame de bois	→	22.5°	20 ↑	36.0	614
11 a	Carotte (coupée en travers)	Tranche de pomme de terre	→	55°	10 ↑	73.0	29.5
11 b	"	"	←	55°	10 ↓	75.0	29

Expériences d'après la méthode A'.

Le tableau II fait connaître dans la colonne VI la quantité de liquide, en millimètres cubes, que le courant, de l'intensité répondant à la déviation inscrite dans la colonne IV, faisait sortir de l'auge dans le temps marqué par la colonne V, lorsque l'auge était limitée par les cloisons spécifiées dans les colonnes II à III, et que le courant galvanique traversait l'osmomètre dans la direction de II à III. Dans la colonne VII la quantité trouvée est réduite à l'unité employée dans les expériences d'après la méthode A.

TABLEAU II.

Expériences 1—3. L'osmomètre est rempli d'eau de pompe.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
1	Plaque d'argile No. 2	Plaque d'argile No. 4	7°	300	750	2250
2	Plaque d'argile No. 3	Peau de grenouille	10°	300	1150	2300
3	Plaque d'argile No. 4	Peau de grenouille	10°	300	950	1900

Expériences 4—7. L'osmomètre est rempli de *Na Cl* 0,02 %.

4	Plaque d'argile No. 3	Peau de grenouille	30°	140	650	1048
5	Plaque d'argile No. 4	Peau de grenouille	30°	60	250	958
6	Peau de grenouille fraîche	Membrane musculeuse de l'estomac (lapin)	30°	250	200	182
7	Muscles abdominaux (lapin)	Membrane musculeuse de l'estomac (lapin)	30°	300	150	68.5

Des chiffres des tableaux I et II ressortent encore quelques particularités relatives à l'influence de la structure de la membrane sur l'osmose électrique. On remarque: *que des membranes organisées susceptibles d'imbibition, tant animales que végétales, possèdent en général une constante de perméabilité beaucoup plus petite que des plaques poreuses d'argile*, tout comme cela a lieu par rapport à la constante analogue de la filtration. On voit aussi: *que des membranes animales ou végétales différentes possèdent une perméabilité différente* (Tableau I, expériences 7 et 11; Tabl. II, 6 et 7). Ensuite: *que la constante de perméabilité d'une membrane organique peut changer avec le temps* (Tableau I, exp. 5 et 6). Enfin, ce qui est conforme aux résultats obtenus par M. Wiedemann, que la constante de perméabilité dépend à un haut degré de la nature du liquide (Tableau II, exp. 2 et 4, 3 et 5). Elle est plus petite pour des liquides meilleurs conducteurs.

Au sujet des valeurs *absolues* de la constante de perméabilité des cloisons étudiées, les expériences avec l'osmomètre différentiel ne peuvent naturellement rien nous apprendre. Ces valeurs sont trouvées à l'aide des

Expériences d'après la méthode B.

Le Tableau III donne dans la colonne III la déviation de l'aiguille du galvanomètre, déviation maintenue au besoin constante, pendant l'expérience, à l'aide d'un rhéostat; dans la colonne IV, la durée de l'observation en secondes; dans la colonne V, la quantité de liquide, en millimètres cubes, qui s'écoulait du flacon

contenant la cathode pendant la durée de l'expérience. Au moyen de ces chiffres ont été calculées les constantes de perméabilité inscrites dans la colonne VI.

Les unités d'intensité et de temps sont les mêmes que précédemment.

TABLEAU III.

Expériences 1—12. L'osmomètre est rempli d'eau.

I.	II.	III.	IY.	V.	VI.
1	Plaque d'argile No. 1	5°	130	800	7385
2	" " " 2	13°	95	1266	6330
3	" " " 4	20°	480	5000	3125
4	" " " 5	22°	150	600	1067
5	Tranche de pomme de terre	22	300	466	415
6	"	20	290	400	413
7	Carotte (coupée en travers)	23	400	666	400
8	Lame de bois	24	600	865	347
9	Peau de grenouille (conservée 2 jours dans l'eau)	30	270	533	338
10	Vessie de porc	30	320	600	321
11	Peau de grenouille (fraîche)	20	300	140	140
12	Poumon de chat	30	400	200	85

Expériences 13—16.

13	NaCl 0.06 pCt.	Plaque d'argile No. 1	20°	130	400	920
14	NaCl 0.06 pCt.	" "	20°	155	466	902
15	NaCl 0.1 pCt.	" "	40°	60	250	500
16	NaCl 0.02 pCt.	" No. 4	30°	90	400	760

Non-seulement, comme on le voit, les constantes diffèrent très considérablement pour des membranes différentes, même analogues,

mais la constante d'une seule et même membrane change aussi dès que la structure de la membrane éprouve une modification. C'est ainsi, par exemple, que la peau de grenouille devient beaucoup plus perméable en séjournant quelque temps dans l'eau (comp. Tabl. I, 5 et 6, Tabl. III, 9 et 11). En général, les expériences indiquent déjà que des membranes organiques molles, contenant beaucoup d'eau, possèdent une perméabilité plus grande que des membranes denses et d'une nature plus sèche.

En considération du point de départ physiologique de mes recherches, il m'a paru utile de soumettre cette relation à une vérification ultérieure. On ne pouvait naturellement songer à déterminer séparément la constante des cellules épithéliales contractiles des glandes cutanées et celle des cellules non contractiles; et il était tout aussi impossible de trouver deux membranes homogènes, dont l'une — analogue aux cellules non contractiles des glandes — possédât un grand pouvoir d'imbibition, l'autre — analogue aux cellules musculaires des glandes — un pouvoir faible. La plupart des membranes ont une structure très compliquée: elles se composent en général de différentes sortes d'éléments et de tissus, à pouvoirs d'imbibition si divers, qu'on ne saurait conclure, de la constante osmotique de la membrane entière, à celle de chacune des parties constituantes séparément.

Pour lever cette difficulté, j'ai modifié artificiellement, en divers sens, la capacité d'imbibition d'un certain nombre de membranes primitivement identiques: chez les unes, je l'ai augmentée en les ramollissant par une courte immersion dans un alcali caustique; chez les autres, je l'ai diminuée, en les durcissant dans l'alcool, les acides minéraux, le tannin, les sels des métaux lourds, ou d'autres matières ayant une action analogue. Chez les premières, la perméabilité devait alors devenir plus grande que dans la membrane fraîche; chez les secondes, plus petite [1]).

Le résultat des expériences a complétement confirmé cette pré-

---

[1]) Au sujet de l'influence des acides sur la perméabilité on peut voir aussi: Heynsius, *Archiv für die holl. Beiträge*, I, p. 243, et *Nederl. Tijdschrift voor Geneesk.* 1860.

vision. Quelques exemples, réunis dans le Tableau IV, pourront en faire foi. Les expériences ont eu lieu suivant la méthode A. Les membranes employées étaient des morceaux, longs de 5 cm. et larges de 4½ cm., de la peau abdominale de grandes *Ranae esculentae*. Les membranes 1—4 provenaient d'individus tués tout récemment; elles furent plongées, la 1ère pendant 2 minutes dans une dissolution concentrée de sulfate de zinc, la 2e un temps égal dans l'alcool absolu, la 3e dans une solution concentrée de tannin, la 4e pendant 1 minute dans la potasse caustique à 35 pour cent; après cela elles furent lavées durant une heure, dans de l'eau fréquemment renouvelée. La membrane 5 avait été conservée pendant 2 jours sous l'eau, la membrane 6 était fraîche. Entre les deux expériences 4_b et 5_a, la membrane 5 fut traitée pendant une minute par HCl à environ 5 p. c., et la membrane 6 pendant le même temps par la soude caustique à environ 5 p. c., après quoi elles furent soumises à un lavage à l'eau, prolongé durant une heure. Entre les expériences 5_d et 6_a, l'inverse eut lieu: la membrane 6 fut traitée par HCl, et 5 par la soude. — Lorsque les membranes étaient parfaitement lavées, on les plaçait dans l'osmomètre et on remplissait celui-ci avec de l'eau de la même pompe qui avait fourni l'eau de lavage. Le tube d'ascension, qui surmontait l'auge, avait un diamètre intérieur de 0,8 mm. Après qu'on s'était assuré que le niveau du liquide dans l'auge restait constant (on attendait chaque fois 4—5 minutes), le courant était établi, alternativement dans une direction et dans l'autre. On n'opérait jamais pendant plus de 10 minutes avec la même combinaison de membranes.

La disposition du Tableau IV (voir p. 346) est la même que celle du Tableau I.

Ces expériences expliquent en outre un phénomène qui s'observe presque constamment lorsque deux membranes organiques sont exposées pendant longtemps, dans l'osmomètre différentiel, à l'action du même courant: on voit alors, dans le cas où le courant électrique avait d'abord fait monter le niveau du liquide, celui-ci s'abaisser au bout de quelque temps, et même, au commencement, avec une vitesse croissante.

TABLEAU IV.

1 a	Membrane N°. 1	Membrane N°. 4	←	15°	60 ↑	18	666
1 b	″ ″	″ ″	→	15°	60 ↓	18	666
1 c	″ ″	″ ″	←	15°	60 ↑	18	666
1 d	″ ″	″ ″	→	15°	60 ↓	18	666
2 a	Membrane N°. 2	Membrane N°. 4	→	17°	100 ↓	31	625
2 b	″ ″	″ ″	←	17°	100 ↑	30	615
2 c	″ ″	″ ″	→	17°	100 ↓	31	625
2 d	″ ″	″ ″	←	17°	100 ↑	30,5	650
2 e	″ ″	″ ″	→	17°	50 ↓	15	612
2 f	″ ″	″ ″	←	17°	50 ↑	15	615
2 g	″ ″	″ ″	→	17°	50 ↓	15	615
2 h	″ ″	″ ″	←	17°	50 ↑	15	615
3 a	Membrane N°. 3	Membrane N°. 4	→	8°	30 ↓	30	400
3 b	″ ″	″ ″	←	8°	30 ↑	30	400
3 c	″ ″	″ ″	→	8°	60 ↓	60	400
3 d	″ ″	″ ″	←	8°	60 ↑	59,5	398
3 e	″ ″	″ ″	→	8°	60 ↓	60	400
3 f	″ ″	″ ″	←	8°	60 ↑	60	400
4 a	Membrane N°. 5	Membrane N°. 6	→	20°	3 ↓	10	45
4 b	″ ″	″ ″	←	20°	3 ↑	9	50
5 a	″ ″	″ ″	→	15°	10 ↑	5,4	344
5 b	″ ″	″ ″	←	15°	10 ↓	5,4	344
5 c	″ ″	″ ″	→	15°	10 ↑	5,4	344
5 d	″ ″	″ ″	←	15°	10 ↓	5,4	344
6 a	″ ″	″ ″	→	20°	20 ↓	10,4	288
6 b	″ ″	″ ″	←	20°	20 ↑	10,0	300
6 c	″ ″	″ ″	→	20°	20 ↓	9,6	315
6 d	″ ″	″ ″	←	20°	20 ↑	9,6	315

Cette dépression du liquide, après ascension préalable, est indubitablement la conséquence de l'action des ions sur les membranes; sous l'influence de l'acide dégagé, la membrane positive devient plus difficilement perméable, tandis que l'alcali mis en

liberté produit un effet contraire sur la membrane négative. Aussi voit-on, en pareil cas, la membrane positive devenir blanche et opaque, la membrane négative devenir plus transparente, et en traitant la membrane positive par un alcali, la membrane négative par un acide, on peut immédiatement faire disparaître la différence, ou même la renverser. C'est surtout pour prévenir l'effet, mis ici en évidence, des produits de l'électrolyse sur la perméabilité spécifique des membranes, que nous étions obligé, dans les expériences décrites plus haut, d'exclure autant que possible l'électrolyse, ou du moins de tâcher de la rendre inoffensive.

En dehors de l'action des produits de l'électrolyse, l'osmose elle-même peut modifier la perméabilité des membranes organiques, même lorsque ces membranes ont été imbibées d'avance et pendant longtemps du liquide osmotique, de sorte qu'elles n'ont pas à craindre d'altération chimique au moment du passage du courant. La nécessité de pareilles modifications dans les corps poreux non homogènes a déjà été signalée par M. H. Munk [1]), qui a aussi analysé théoriquement les principaux cas possibles. C'est avec raison, je crois, qu'il fait usage de cette propriété pour expliquer la „résistance interne secondaire'' qui a été découverte par M. du Bois-Reymond dans les tissus des plantes vivantes. — Du reste, même dans les membranes homogènes, l'osmose seule paraît capable de déterminer des modifications de la perméabilité; ce point, toutefois, demande encore de nouvelles recherches [2]).

---

[1]) Hermann Munk, *Untersuchungen über das Wesen der Nervenerregung*, tome Ier, 1868, p. 461 et suiv.

[2]) Voir aussi: A. Fick, *Medic. Physik.*, 2e éd. 1866, p. 39.

SUR LA

SOLUBILITÉ ET LA DISSOCIATION

DES

BICARBONATES DE SOUDE, DE POTASSE ET D'AMMONIAQUE,

PAR

H. C. DIBBITS.

I. Bicarbonate de Soude.

La décomposition que subit le bicarbonate de soude, lorsqu'il est dissous dans l'eau, a déjà été étudiée par plusieurs chimistes. H. Rose [1]) a communiqué à ce sujet, en 1835, les expériences suivantes. Du bicarbonate de soude, dissous dans l'eau et évaporé à siccité dans le vide sur l'acide sulfurique, lui avait laissé un résidu qui possédait à peu près la composition du sesquicarbonate de soude. Le même sel, dissous dans l'eau et évaporé à siccité sous la pression ordinaire de l'air, en présence de l'acide sulfurique et d'une grande quantité de potasse caustique, puis redissous dans l'eau et évaporé une seconde fois à siccité, était presque complétement transformé en carbonate neutre. Lorsqu'une solution de bicarbonate était soumise à une ébullition prolongée, le sel passait aussi presque en entier à l'état de carbonate neutre.

Peu de temps après, en 1837, G. Magnus [2]) montra qu'un courant d'hydrogène, en traversant une solution de bicarbonate de soude, entraîne une quantité très-notable d'acide carbonique.

---

[1]) Pogg. *Annal.* t. XXXIV, p. 158.

[2]) Pogg. *Annal.* t. XL, p. 590.

Cette méthode fut employée en 1845 par R. F. Marchand [1]) pour déterminer la grandeur de la décomposition. Voici comment il décrit ses expériences: „A travers une solution complètement saturée à 0° de bicarbonate de soude pur, solution qui occupait un volume de 140 C.C., on fit passer un fort courant d'air atmosphérique humide; pendant toute la durée de l'opération, le liquide, qui était contenu dans une haute éprouvette de verre, resta entouré de glace fondante. Après qu'il fut ainsi passé un million et demi de centimètres cubes d'air, j'examinai la composition du liquide, en dosant, dans deux quantités pesées, une fois la soude et une fois l'acide carbonique. Je trouvai sur 1,785 gr. de soude 1,892 gr. d'acide carbonique, ou sur 390 parties de soude 402 parties d'acide carbonique. Cela conduit au rapport de 2 éq. de soude à 3 éq. d'acide carbonique, car ce rapport serait 2. 390 Na O [2]) à 2. 412,5 CO^2. On est donc fondé à admettre que par ce traitement le bicarbonate est changé en sesquicarbonate.

„Dans une autre solution, qui, après avoir été saturée à 0°, fut chauffée à 38° C. et maintenue à cette température pendant toute la durée de l'expérience, je fis passer deux millions de centimètres cubes d'air. Le dégagement d'acide carbonique fut cette fois beaucoup plus intense que dans l'expérience précédente. Outre les bulles d'air qui traversaient le liquide, il s'en élevait de nombreuses petites perles gazeuses, et le courant gazeux avait distinctement l'odeur de l'acide carboniqne. Aprés le passage de cette grande quantité d'air, la composition du liquide fut déterminée. Sur 390 parties de soude, il contenait cette fois 290 parties d'acide carbonique. Je ne doute pas que, si le courant d'air avait été soutenu encore plus longtemps, le rapport n'eût fini par devenir 390: 275; j'ai jugé inutile de continuer l'expérience jusqu'à ce point."

Les expériences que je viens de citer montrent donc clairement que le bicarbonate de soude en solution est partiellement décom-

[1]) *Journ. f. prakt. Chem.*, t. XXXV, p. 389.
[2]) O = 8.

posé. Ainsi que H. Rose [1]) l'a déjà fait remarquer par rapport au bicarbonate de potasse, — sel qui se comporte en général de la même manière que le bicarbonate de soude, — une solution de bicarbonate, exposée à l'air, laissera donc échapper de l'acide carbonique. Lorsque la solution a perdu de l'acide carbonique, une nouvelle quantité de sel est décomposée, de sorte qu'il peut de nouveau se dégager de l'acide carbonique, ce qui amène une nouvelle décomposition du sel, et ainsi de suite, jusqu'à ce que finalement le bicarbonate soit entièrement converti en carbonate neutre. Le dégagement de l'acide carbonique libre ne dépend pas de la pression de l'air ou d'autres gaz, mais seulement de la pression que l'acide carbonique exerce lui-même à la surface de la solution. Lorsque la solution est exposée à l'air, l'acide carbonique qu'elle abandonne formera temporairement une petite couche au-dessus du liquide, couche qui s'oppose au dégagement ultérieur d'acide carbonique et par conséquent à la décomposition ultérieure du sel. Si l'on enlève cette couche, soit par l'ébullition, soit par le vide, ou par la potasse caustique, ou par un courant d'un autre gaz, l'acide carbonique se dégage sans interruption, et la décomposition ne s'arrête que lorsqu'elle est devenue complète. Si au contraire l'acide carbonique dégagé continue à exercer sa pression sur la solution, le dégagement cesse dès qu'un certain état d'équilibre est atteint, et la décomposition du sel ne va pas plus loin. La décomposition sera d'autant plus faible que la pression de l'acide carbonique sur la solution sera plus grande, et en rendant cette pression très grande, on empêcherait probablement tout-à-fait la décomposition du bicarbonate.

D'après les expériences de Rose, le bicarbonate de potasse en solution se décompose de la même manière que le bicarbonate de soude. Si l'acide carbonique peut s'échapper au fur et à mesure de sa mise en liberté, — à l'aide de l'ébullition, ou sous la pompe pneumatique, ou par évaporation répétée en présence de la potasse caustique dans les conditions ordinaires de pression et de tempé-

---

[1]) Pogg. *Annal.*, t. XXXIV, p. 156.

rature, — le bicarbonate de potasse finit par se transformer entièrement en carbonate neutre. Ce qui a été dit tout à l'heure s'applique donc aux deux bicarbonates.

Une conséquence de cette décomposition partielle est que les cristaux des deux bicarbonates, en séchant à l'air, perdent toujours un peu d'acide carbonique et se recouvrent ainsi d'une mince couche de carbonate neutre. Cette perte d'acide carbonique, pendant la dessiccation à l'air, est beaucoup plus faible pour le bicarbonate de soude que pour le bicarbonate de potasse, ce qui s'explique aisément. En effet, le carbonate neutre de soude, une fois formé, n'attire que très-lentement l'humidité atmosphérique, de sorte que les cristaux du bicarbonate sont bientôt secs. Avec le bicarbonate de potasse, au contraire, le carbonate neutre formé absorbe rapidement de l'eau chaque fois qu'il vient en contact avec de l'air humide; cette eau redissout une partie du bicarbonate, ce qui donne de nouveau occasion à une décomposition du sel et par suite à un dégagement d'acide carbonique. Même pour le bicarbonate de soude, toutefois, il y a perte d'acide carbonique quand les cristaux sèchent à l'air, ainsi que le montrent les expériences suivantes.

Des cristaux de bicarbonate de soude, parfaitement exempts de sulfate et de chlorure, ont été pressés entre du papier à filtre, réduits en poudre et ensuite séchés pendant plusieurs jours dans de l'air en contact avec l'acide sulfurique. Trois analyses du sel ainsi séché m'ont donné :

	Perte par calcin.	Acide carbonique [1].
I	36,67 pCt.	52,07 pCt.
II	36,68 „	52,12 „
III	36,73 „	51,97 „
Moyenne	36,69 pCt.	52,05 pCt.
Calculé	36,90 „	52,38 „

La perte trouvée par calcination et la proportion trouvée d'acide

[1]) Dosé en le chassant par l'acide sulfurique dilué et le recueillant dans la chaux sodée.

carbonique sont donc l'une et l'autre plus petites que les quantités calculées. Si l'on considère, en outre, que le carbonate neutre de soude, supposé primitivement hydraté, retient dans l'air sec et à la température ordinaire 1 molécule H^2O [1]), et que par conséquent $Na^2\,CO^3 + H^2O$ ne doit donner que 14,5 % de perte par calcination et 35,3 % d'acide carbonique, on peut conclure, de la différence *en moins* entre les nombres ci-dessus trouvés et les nombres calculés, que les cristaux séchés *dans l'air* sur l'acide sulfurique contiennent un peu de carbonate neutre.

Les mêmes cristaux, introduits encore humides dans une capacité remplie à la pression atmosphérique ordinaire *d'acide carbonique sec*, qui était maintenu sec au moyen de l'acide sulfurique, m'ont au contraire donné, après être restés plusieurs jours dans cette atmosphère d'acide carbonique:

	Perte par calcin.	Acide carbonique.
I	36,88 pCt.	52,38 pCt.
II	36,90 „	52,25 „
Moyenne	36,89 pCt.	52,31 pCt.

nombres qui se rapprochent beaucoup plus des valeurs calculées.

J'ai tâché de déterminer la solubilité du sel dans des conditions où la décomposition, dont il vient d'être parlé, était empêchée autant que possible. Pour cela, j'ai fait usage de petits flacons de 40 à 50 c.c. de capacité, qui, après avoir été remplis *jusqu'au col* de sel et d'eau (le premier en excès), étaient fermés avec un bouchon de liége d'excellente qualité. Au-dessus du liquide dans le flacon il ne restait alors qu'une bulle d'air occupant tout au plus un volume de 2 c.c. On ne pouvait remplir le flacon complètement, 1°. parce que cela aurait nui beaucoup à l'opération du secouement, et 2°. à cause de la dilatation du liquide par la chaleur. Je ne jugeai pas à propos de remplacer par l'acide carbonique la petite quantité d'air laissée dans le col du flacon, parce que cet acide carbonique se serait dissous dans l'eau, et que je voulais déterminer, aussi bien que possible, la

[1]) G. J. Mulder, *Bijdragen tot de geschied. v. h. scheik. gebonden water*, p. 131.

solubilité dans l'eau pure. Je reconnus que l'acide carbonique, mis en liberté par la décomposition du sel dissous, exerçait toujours, sur la paroi interne du flacon et sur le bouchon, une pression très-forte, et d'autant plus forte que la température était plus élevée. En conséquence, le bouchon fut toujours attaché au col par une solide ficelle. Lorsque cette précaution était négligée, il arrivait souvent, surtout à des températures un peu élevées, que le bouchon était projeté avec explosion, ou bien qu'il se soulevait et laissait échapper latéralement de l'acide carbonique. En pareil cas, l'expérience était tenue pour manquée. En effet, lorsqu'il y a eu perte d'acide carbonique, la solution renferme plus de carbonate neutre de soude, lequel est beaucoup plus soluble que le bicarbonate, et le dosage, tant celui de la soude que celui de l'acide carbonique, donne alors toujours des résultats trop forts.

Pour obtenir la matière qui devait servir aux déterminations de solubilité, le sel du commerce, qui était déjà passablement pur, fut soumis à une nouvelle cristallisation par la dissolution dans de l'eau à 60° environ; les cristaux, réduits en poudre, furent lavés deux fois à grande eau, pour les débarrasser de l'eau-mère adhérente, puis pressés dans du papier joseph et enfin séchés sur l'acide sulfurique dans une cloche remplie d'acide carbonique. En opérant de cette manière sur 1 kilogramme de bicarbonate du commerce, il me resta environ 300 grammes de sel très-pur, ne renfermant pas trace de sulfate ni de chlorure.

J'obtins des dissolutions saturées, au-dessus de 0°, en secouant les flacons pendant longtemps et à une température aussi constante que possible, dans l'air lorsque cette température était inférieure à 10°, dans une cuve pleine d'eau lorsque la température devait être plus élevée. La température fut toujours déterminée dans la solution même, au moyen d'un thermomètre préalablement chauffé, dans une étuve à air, jusqu'à la température de l'eau de la cuve. Pour préparer des solutions saturées à 0°, les petits flacons, remplis avec de l'eau et du sel pris l'un et l'autre à 5°, furent fermés hermétiquement, secoués pendant plu-

sieurs heures à la température de 5°, puis déposés dans un baquet plein de glace fondante, convenablement renouvelée tous les jours.

La température du local où ce baquet était placé varia entre 4° et 7°. Le flacon dont la solution est désignée ci-après sous le No. 1 resta dans la glace fondante pendant *quatre* jours, le No. 2 pendant *cinq* jours, le No. 3 pendant *sept* jours; tous les trois donnèrent les mêmes résultats.

Lors de l'ouverture des flacons, il se dégageait toujours de l'acide carbonique, dont la tension était évidemment supérieure à la pression atmosphérique. Même à 0°, on voyait distinctement, aprés que le bouchon était retiré, se former des bulles d'acide carbonique dans la solution, et à des températures plus élevées il se produisait une effervescence beaucoup plus forte. Quand la détermination avait eu lieu au-dessus de 40°, il suffisait de couper la ficelle pour faire sauter le bouchon. Comme le bicarbonate était employé sous forme de poudre, et que les bulles d'acide carbonique, en montant dans le liquide, entraînaient toujours avec elles quelques parcelles de sel, il fallait observer certaines précautions pour obtenir la solution saturée à l'état limpide. A cet effet, lorsqu'on opérait à de basses températures, la solution était passée par un filtre sec, qui au besoin était légérement chauffé; aux températures supérieures à 40°, où il eût été difficile d'éviter le refroidissement durant la filtration, on puisait dans le flacon, aussitôt que la première effervescence était calmée, au moyen d'une pipette préalablement chauffée dans une étuve jusqu'à la température convenable, une certaine quantité de la solution, et si celle-ci paraissait suffisamment limpide, on l'employait pour les dosages. Une partie de la solution saturée était reçue dans un creuset de platine, pesée et réservée pour la détermination de la soude; une autre partie de la même solution était introduite dans un petit matras de verre qu'on bouchait aussitôt, et dans cette partie, *immédiatement après la pesée*, on dosait l'acide carbonique, en le chassant par l'acide sulfurique

dilué et le recueillant dans deux tubes à chaux sodée, selon la méthode que j'ai décrite ailleurs [1]).

Pour déterminer la soude, le contenu du creuset de platine était évaporé au bain-marie, à une température ne dépassant pas 70°. De cette manière, la solution de bicarbonate de soude s'évapore sans aucun dégagement visible de gaz, et par conséquent sans aucune perte par projection. Finalement, l'eau du bain-marie était portée à l'ébullition, puis, le creuset étant couvert, la masse saline sèche était chauffée progressivement jusqu'à calcination faible, de façon que le carbonate de soude obtenu n'entrât pas en fusion. Ainsi exécutées, les déterminations de la soude possèdent un haut degré d'exactitude.

Les résultats de mes expériences, réduits, pour la facilité des comparaisons, à 10 grammes de la solution saturée, sont les suivants :

Bicarbonate de soude.

Numéro de l'expérience.	Température.	10 gr. de solution saturée ont donné: Na^2CO^3.	CO^2.
1	0°	0,4057 gram	0,3323 gram.
2	0°	0,4065 "	0,3332 "
3	0°	0,4063 "	0,3329 "
4	5°,6	0,4428 "	0,3613 "
5	8°,2	0,4620 "	0,3764 "
6	14°,8	0,5124 "	0,4165 "
7	20°,5	0,5573 "	0,4524 "
8	24°,8	0,5913 "	0,4792 "
9	30°,2	0,6336 "	0.5127 "
10	34°,7	0,6695 "	0,5415 "
11	40°,6	0,7192 "	0.5808 "
12	44°,8	0,7554 "	0,6080 "
13	51°,4	0,8150 "	0.6524 "
14	57°,2	0,8684 "	0,6887 "
15	60°,0	0,8945 "	0,6990 "

[1]) *Maandblad voor natuurwetenschappen*, IV, p. 2.

A l'aide de ces données, j'ai calculé le tableau suivant:

Bicarbonate de soude.

Numéro de l'expérience.	Tempé-rature.	Solubilité en 100 p. d'eau, déduite des déterminations de : Na.	CO².	Déficit en CO², sur 100 p. de ce gaz.
1	0°	6,87	6,77	1,3
2	0°	6,89	6,79	1,3
3	0°	6,88	6,79	1,3
4	5°,6	7,55	7,41	1,7
5	8°,2	7,90	7,74	1,8
6	14°,8	8,84	8,64	2,1
7	20°,5	9,69	9,46	2,2
8	24°,8	10,34	10,07	2,4
9	30°,2	11,16	10,85	2,5
10	34°,7	11,87	11,53	2,6
11	40°,6	12,87	12,47	2,7
12	44°,8	13,60	13,13	3,0
13	51°,4	14,83	14,23	3,6
14	57°,2	15,96	15,14	4,5
15	60°,0	16,52	15,40	5,9

On voit que la solubilité déduite du dosage de l'acide carbonique est toujours plus petite que celle à laquelle conduit, pour la même solution, le dosage de la soude; c'est là une conséquence du dégagement d'acide carbonique, qui a lieu à l'ouverture du flacon et pendant la courte durée de la filtration ou du transvasement. La dernière colonne du second tableau montre que la perte en acide carbonique croît constamment avec la température, même lorsque cette perte est exprimée en centièmes de la quantité totale d'acide carbonique, déduite du dosage de la soude. L'accroissement progressif de cette perte est sans doute en partie le résultat de la diminution du coefficient d'absorption aux températures supérieures, mais je crois qu'il provient aussi en partie d'une décomposition plus avancée. C'est du moins ce que semble indiquer la tension plus forte que le gaz acquiert alors au-dessus

de la solution. A la fin de ce mémoire je donnerai quelques détails au sujet de cette tension.

Je n'ai pas déterminé la solubilité au delà de 60°, parce que, d'après les expériences de M. A. D. van Riemsdijk [1]), le bicarbonate de soude à l'état sec, — par conséquent sans l'assistance de l'eau, — commence déjà à se décomposer à 61°. Si donc, à 61° ou à une température supérieure, on secoue de l'eau avec un excès de bicarbonate de soude, le sel non dissous sera lui-même converti en carbonate neutre, acide carbonique et eau, et la quantité trouvée de sel dissous acquerra alors une signification toute différente.

Au-dessous de 61°, on peut parler de la solubilité du bicarbonate, à condition d'entendre par là: *la quantité maximum de sel, qui, à la température donnée, peut être dissoute en* 100 *parties d'eau dans un espace fermé, c'est-à-dire dans un espace où la décomposition est réduite à un minimnm.* En ce sens, la solubilité doit être déduite des déterminations de la soude, ou, mieux encore, elle doit être calculée comme nous le verrons chez le bicarbonate de potasse (page 361).

Comme, dans mes expériences, le petit espace que le liquide laissait libre au sommet du flacon était occupé par de l'air, dans lequel pouvait se dégager un peu d'acide carbonique, une petite quantité du sel devait être décomposée; or, le carbonate neutre de soude étant plus soluble que le bicarbonate, il en résulte que si l'on pouvait empêcher *complétement* la décomposition, soit par une plus forte pression, soit de toute autre manière, la solubilité serait probablement trouvée un peu moindre. Les valeurs de la solubilité, déduites des dosages de la soude, bien qu'approchant de la vérité, sont donc, selon toute apparence, un peu trop grandes.

Plus loin je donnerai un tableau plus complet de ces valeurs. La ligne de solubilité qui se déduit de mes expériences présente une courbure très-peu prononcée; entre 15° et 30°, elle se distingue à peine d'une ligne droite.

---

[1]) *De scheikundige werking der warmte op anorg. verbindingen*, p. 71.

Avant d'en finir avec le bicarbonate de soude, je rappellerai encore que la solubilité de ce sel a été déterminée, en 1843, par M. Poggiale[1]). Les défauts d'un grand nombre des déterminations de solubilité de ce savant ont déjà été signalés par M. G. J. Mulder[2]), qui les appelle „en beaucoup de cas, des modèles d'inexactitude et de négligence." Les déterminations de M. Poggiale, relatives au bicarbonate de soude, s'écartent notablement des miennes. Il ne dit pas un mot du dégagement d'acide carbonique ni de la décomposition du sel, qui pourtant ne peuvent échapper à l'attention dans des mesures précises. Il donne pour la solubilité du sel en 100 parties d'eau les nombres suivants:

0°	8,95	40°	13,35
10°	10,04	50°	14,45
20°	11,15	60°	15,57
30°	12,24	70°	16,69

Après M. Poggiale, il n'a plus été fait, que je sache, de déterminations de la solubilité du bicarbonate de soude, sauf une seule par M. Anthon[3]), qui, de 10° à 11°,2, a trouvé le nombre 8,3; pour 11°,2, cette valeur concorde exactement avec mes expériences.

II. Bicarbonate de potasse.

Ainsi que H. Rose l'a montré le premier, le bicarbonate de potasse, dissous dans l'eau, laisse déjà échapper de l'acide carbonique à la température ordinaire, tout comme le bicarbonate de soude (voir plus haut). C'est là la raison pour laquelle des cristaux humides de bicarbonate de potasse perdent toujours un peu d'acide carbonique pendant la dessiccation à l'air, et cette

---

[1]) *Ann. Chim. Phys.* (3), VIII, pag. 468.

[2]) *Bijdragen tot de geschiedenis van het scheikundig gebonden water*, p. 10.

[3]) *Chem. Centralblatt*, 1861, p. 629.

perte d'acide carbonique, comme il a été dit à la page 351, est pour le bicarbonate de potasse, à cause de l'hygroscopicité du carbonate neutre, plus grande que pour le bicarbonate de soude. Du bicarbonate de potasse pur, soumis à une nouvelle cristallisation dans de l'eau chargée d'acide carbonique, et séché sur l'acide sulfurique, *dans l'air ordinaire*, m'a donné en trois déterminations :

	Perte par calcin.	Acide carbonique.
I	31,15	40,93
II	31,08	42,02
III	31,40	42,36
Calculé	31,00	44,00

Il y avait donc constamment trop peu d'acide carbonique et trop d'eau, et par conséquent il y avait aussi toujours un peu de carbonate neutre.

Pour préparer du bicarbonate de potasse exempt de carbonate neutre, je pris du sel cristallisé qui ne renfermait que des traces de sulfate et de chlorure ; ce sel ayant été soumis à une nouvelle cristallisation, dans de l'eau à 50°—60°, les cristaux obtenus furent pressés entre du papier à filtre, réduits en poudre, et séchés par petites parties sur l'acide sulfurique dans une cloche *remplie d'acide carbonique*. En opérant sur 1 kilogramme des cristaux primitifs, je recueillis de cette manière plus de 300 grammes de sel pur, entièrement débarrassé de sulfate et de chlorure, et qui dans trois dosages (exécutés chacun sur 4—6 grammes de matière) donna :

	Perte par calcin.	Acide carbonique.
I	30,99	43,94
II	31,00	43,95
III	31,00	44,00
Moyenne	31,00	43,96

L'accord de ces résultats avec les quantités calculées montre que le sel obtenu par ce traitement était aussi complètement exempt de carbonate neutre. Ce sel fut employé pour les déterminations de solubilité.

Les solutions saturées furent préparées exactement de la manière qui a été décrite ci-dessus pour le bicarbonate de soude. Quand on ouvrait les petits flacons qui contenaient la solution saturée, il s'en échappait, même à 0°, de l'acide carbonique, comme l'indiquait la tension du gaz au-dessus du liquide, et déjà à 21°,5 cette tension était si considérable, que le bouchon, à l'instant où on coupait la ficelle qui le maintenait, était chassé du goulot avec bruit. A cause de la grandeur de cette tension, je n'ai pas fait de déterminations au-dessus de 60°. D'après M. van Riemsdijk [1]), le sel *sec* commence à perdre de l'acide carbonique vers 106°.

Dans deux portions séparées de la même solution je dosais chaque fois le potassium et l'acide carbonique: ce dernier, toujours immédiatement après l'ouverture du flacon, de la manière indiquée précédemment; le premier, en transformant le sel en nitrate dans un petit matras à long col, évaporant à siccité dans une capsule de platine chauffée au bain-marie, et desséchant à 150°—160°; après que le salpêtre obtenu avait été pesé, je m'assurais toujours de sa neutralité au moyen de l'essai tant avec le papier de tournesol bleu qu'avec le papier rouge. Le poids de la solution saturée employée pour chaque dosage était de 5—15 grammes, le poids du salpêtre obtenu dans chaque expérience s'élevait à 1,5—2,5 grammes, le poids de l'acide carbonique obtenu dans chaque expérience à 0,7—1,3 grammes.

Les données de mes expériences, réduites à 10 grammes de la solution saturée, sont les suivantes:

[1]) *De scheikundige werking der warmte op anorganische verbindingen*, p. 69.

Bicarbonate de potasse.

Numéro de l'expérience.	Tempé-rature.	10 gr. de solution saturée ont donné KNO^3.	CO^2.
1	0°	1,8537 gram	0,8008 gram.
2	0°	1,8527 〃	0,8018 〃
3	0°	1,8530 〃	0,8018 〃
4	5°,5	2,0398 〃	0,8783 〃
5	11°,0	2,2262 〃	0,9536 〃
6	16°,3	2,4034 〃	1,0265 〃
7	21°,5	2,5745 〃	1,0970 〃
8	27°,4	2,7616 〃	1,1737 〃
9	32°,2	2,9138 〃	1,2345 〃
10	37°,5	3,0813 〃	1,3009 〃
11	41°,8	3,2171 〃	1,3558 〃
12	46°,3	3,3643 〃	1,4147 〃
13	51°,4	3,5283 〃	1,4832 〃
14	54°,9	3,6455 〃	1,5262 〃
15	59°,0	3,7903 〃	1,5486 〃

Au moyen de ces données, j'ai calculé la solubilité de la manière suivante, qui s'écarte un peu de celle que j'avais adoptée précédemment. De la quantité trouvée de KNO^3, par conséquent de la quantité trouvée de K, je déduisais le CO^2 qui aurait dû être trouvé si aucune partie de CO^2 ne s'était échappée; la différence entre cette valeur et le CO^2 trouvé directement donne la quantité de CO^2 qui s'est échappée au moment de l'ouverture du flacon. Ce CO^2 échappé appartenait à la solution, et en conséquence son poids a été ajouté au poids de la solution saturée. — Un exemple éclaircira ce que je viens de dire. Dans l'expérience No. 15, temp. = 59°,0, on a trouvé,

en 10 grammes de solution saturée, telle qu'elle avait été pesée:

3,7903 gr. KNO^3 = 3,7528 gr. $KHCO^3$ = 1,6512 gr. CO^2.
Trouvé: 1,5486 „ „
Différence: 0,1026 gr. CO^2.

A l'ouverture du flacon et pendant la décantation ou la filtra-

tion il s'était donc échappé, sur 10 grammes de solution, 0,1026 grammes de CO^2.

3,7528 grammes $KHCO^3$ avaient donc été dissous, lorsque le flacon était encore bouché, non pas dans 10 grammes, mais dans 10,1026 grammes de solution saturée, d'où l'on déduit pour la solubilité en 100 parties d'eau: 59,10. Sans cette correction pour l'acide carbonique échappé, on trouverait: 60,07.

En opérant ainsi, on a déduit des données de l'expérience le tableau suivant:

Bicarbonate de potasse.

Numéro de l'expérience.	Température.	Perte de CO^2 sur 10 gr. de sol. sat.	Perte de CO^2 en centièmes du CO^2.	Solubilité en 100 p. d'eau.
1	0°	0,0067 gram	0,8	22,46
2	0°	0,0053 "	0,7	22,45
3	0°	0,0054 "	0,7	22,45
4	5°,5	0,0103 "	1,2	25,27
5	11°,0	0,0162 "	1,7	28,22
6	16°,3	0,0205 "	2,0	31,14
7	21°,5	0,0246 "	2,2	34,10
8	27°,4	0,0294 "	2,4	37,48
9	32°,2	0,0349 "	2,7	40,35
10	37°,5	0,0415 "	3,1	43,64
11	41°,8	0,0457 "	3,3	46,43
12	46°,3	0,0510 "	3,5	49,57
13	51°,4	0,0539 "	3,4	53,25
14	54°,9	0,0619 "	3,9	55,94
15	59°,0	0,1026 "	6,2	59,10

Ces déterminations, tout comme celles relatives au bicarbonate de soude, s'éloignent beaucoup des chiffres de M. Poggiale, dont l'inexactitude a déjà été signalée plus haut. M. Poggiale donne pour la solubilité du bicarbonate de potasse en 100 parties d'eau les nombres suivants [1]):

0°	19,61	40°	34,15
10°	23,23	50°	37,92
20°	26,91	60°	41,35
30°	30,57	70°	45,24

[1]) *Ann. Chim. Phys.* (3), 8, p. 468.

Il n'y a pas accord non plus avec la détermination de M. Anthon [1]), qui à 10° — 11°,2 trouve la solubilité = 24,4, ni avec celle de M. Redwood [2]), d'après lequel, à 15° C, 1 partie de sel exige pour se dissoudre 3½ parties d'eau, ce qui fait sur 100 parties d'eau 28,6 parties de sel. Ces deux dernières déterminations se rapprochent pourtant plus des miennes que celles de M. Poggiale (Voir le tableau ci-après).

III. Bicarbonate d'ammoniaque.

On doit à H. Rose [3]) d'avoir fait connaître le premier la composition du bicarbonate d'ammoniaque, ainsi que différentes manières de le préparer. Miller [4]), G. Rose [5]) et Deville [6]) ont décrit la forme cristalline de ce sel. Teschenmacher, Ulex [7]) et T. L. Phipson [8]) l'ont trouvé, à l'état cristallisé, dans du guano de diverses provenances, et A. Schrötter [9]) l'a rencontré en cristaux, qui mesuraient jusqu'à 2 centimètres de longueur, dans un tuyau de conduite, large de 3 décimètres, de la fabrique de gaz à Vienne. Du reste, ce sel n'a encore été que peu étudié.

Pour déterminer la solubilité, je préparai une grande quantité du sel en dissolvant du carbonate d'ammoniaque du commerce dans de l'eau à 40° — 50°, et faisant passer un courant d'acide carbonique à travers la solution pendant qu'elle se refroidissait. J'obtins ainsi des cristaux tout-à-fait transparents, qui parfois,

---

1) *Chem. Centralblatt*, 1861, p. 629.
2) Cité dans Otto, *Ausführl. Lehrb. der anorg. Chem.*, 4e éd., II, p. 141.
3) *Pogg. Ann.*, 46, p. 353.
4) *Trans. of the phil. Soc. of Cambridge*, III. — *Pogg. Ann.*, 23, p. 558.
5) *Pogg. Ann.*, 46, p. 400.
6) *Ann. Chim. Phys.* (3), 40, p. 87.
7) *Ann. Chem. Pharm.*, 66, p. 44. — *Journ. f. prakt. Chem.*, 46, p. 409.
8) *Journ. of the Chem. Soc.* (2), 1, p. 74.
9) *Sitz. Ber. d. kais. Akad. d. Wiss. zu Wien*, 2te Abtheil., p. 33. — *Chem. Centralbl.*, 1862, p. 92.

lorsque le courant de gaz carbonique était interrompu avant le refroidissement complet, avaient des dimensions assez considérables et atteignaient jusqu'à 1 centimètre de longueur. Même quand on ne la fait pas traverser par un courant d'acide carbonique, la solution saturée à chaud du sel du commerce laisse encore déposer des cristaux de bicarbonate d'ammoniaque, mais leur quantité est alors un peu plus faible. Les cristaux obtenus furent pressés entre du papier à filtre, puis séchés sur l'acide sulfurique et la soude caustique.

Les cristaux appartenaient au système rhombique et présentaient la forme décrite par Miller, G. Rose et Deville [1]. Leur composition était représentée par la formule $(NH^4)HCO^3$, ainsi qu'il résulte des analyses suivantes, exécutées à divers intervalles:

	I	II	III	IV	Moyenne.	Calculé.
CO^2	55,71	55,64	55,41	55,88	55,66	55,70
NH^3	21,51	21,51	21,43	21,40	21,46	21,52
H^2O					22,88	22,78

Dans le n⁰ IV, le dosage de l'acide carbonique se fit par précipitation au moyen du chlorure de baryum et de l'ammoniaque; l'acide carbonique fut donc pesé à l'état de carbonate de baryte. Les dosages I—III eurent lieu, comme toutes les autres déterminations de l'acide carbonique mentionnées dans ce travail, en chassant le gaz par l'acide sulfurique étendu et le recueillant dans la chaux sodée. — Pour l'ammoniaque, le dosage IV s'effectua en transformant le sel, dans un matras à long col tenu incliné, en chlorure ammonique, précipitant par le chlorure de platine, calcinant le précipité et le pesant à l'état de platine. Les dosages I—III, comme tous les autres dosages d'ammoniaque dont il sera ici question, furent exécutés en décomposant le sel par l'acide chlorhydrique, évaporant au bain-marie dans une capsule de platine, et, lorsque le poids était devenu constant, pesant le chlorure ammonique obtenu. — L'eau fut déterminée par différence. L'accord entre les résultats trouvés et la composition calculée montre que le sel était exempt de carbonate neutre.

[1]) Comparer Rammelsberg, *Krystallogr. Chemie*, p. 152.

Le sel, préparé ainsi qu'il a été dit, est complétement inodore. Exposé à l'air, il attire un peu d'humidité, et répand alors une forte odeur d'ammoniaque ou de carbonate d'ammoniaque. Par l'eau, le sel est partiellement décomposé; il se dégage d'abord de l'acide carbonique, et ensuite de l'ammoniaque, ce qui explique l'odeur du sel humide, odeur dont le sel sec ne présente aucune trace.

Pourtant, le sel *sec* s'évapore aussi, comme me l'a appris l'expérience suivante. Des cristaux du sel, réduits en poudre fine, furent d'abord séchés longtemps sur l'acide sulfurique et la soude caustique. On en prit alors une partie déterminée (2,476 grammes), qui fut replacée en présence de l'acide sulfurique et de la soude caustique dans un espace clos, puis pesée de nouveau de temps en temps. Après 12 jours le sel avait perdu 24,2 % de son poids, après 18 jours 36,5 %, après 24 jours 52,0 %. La température avait varié entre 12° et 16°. Par l'analyse du résidu (après que le poids du sel avait diminué de 52 %), j'obtins:

55,64 % CO^2
67,71 „ $NH^4Cl = 21{,}52$ % NH^3,

ce qui est entièrement conforme à la composition du sel primitif. L'évaporation partielle n'apporte donc aucun changement dans la composition du résidu.

La détermination du poids spécifique du sel, pour laquelle on a choisi de petits cristaux bien conformés, a été faite à l'aide d'un pycnomètre dont le volume mesurait 2,8876 c.c. à 15°, dans du pétrole qui possédait à 15° une densité de 0,7252 (eau à 4° = 1). J'ai trouvé ainsi pour le poids spécifique du sel à 15°, rapporté à celui de l'eau à 4°:

I	1,5448
II	1,5439
Moyenne	1,544

M. Ulex [1]), en opérant, il est vrai, sur des cristaux retirés du guano et qui n'étaient pas absolument purs, avait trouvé le poids spécifique = 1,45.

[1]) *Ann. Chem. Pharm.*, 66, p. 44.

Les déterminations de solubilité, relatives à ce sel, ont eu lieu de la manière qui a été décrite ci-dessus à l'occasion du bicarbonate de soude (p. 352). Pour chaque solution saturée, et immédiatement après sa préparation, on dosait dans une portion l'acide carbonique, et dans une autre portion l'ammoniaque, sous forme de chlorure ammonique. Au moment de l'ouverture du flacon il s'échappait toujours, même à 0°, de l'acide carbonique, ce qu'on pouvait conclure de la tension du gaz. A 4° une expérience vint même à manquer par suite de la projection du bouchon, qui cette fois avait bien été fortement serré, mais non attaché au moyen d'une ficelle. A toutes les températures, la tension de l'acide carbonique libre, et par conséquent la décomposition du sel, étaient beaucoup plus fortes que pour le bicarbonate de potasse ou de soude. Par suite de la tension très-considérable de l'acide carbonique aux températures un peu élevées, il m'a été impossible de déterminer la solubilité au-dessus de 30°.

Les données de mes expériences, de nouveau réduites à 10 grammes de la solution saturée, sont les suivantes:

Bicarbonate d'ammoniaque.

Numéro de l'expérience.	Température.	10 gr. de solution saturée ont donné: NH^4Cl.	CO^2.
1	0°	0,7212 gram	0,5768 gram.
2	0°	0,7222 "	0,5777 "
3	3°,0	0,7800 "	0,6222 "
4	8°,4	0,8943 "	0,7126 "
5	12°,5	0,9925 "	0,7800 "
6	17°,1	1,1033 "	0,8585 "
7	20°,9	1,2098 "	0,9229 "
8	22°,8	1,2581 "	0,9516 "
9	26°,2	1,3523 "	1,0159 "
10	29°,9	1,4566 "	1,0816 "

De ces données j'ai déduit, en procédant comme il a été dit à l'article du bicarbonate de potasse, le tableau suivant:

Bicarbonate d'ammoniaque.

Numéro de l'expérience.	Tempé-rature.	Perte de CO^2 sur 10 gr. de sol. sat.	Perte de CO^2 en centièmes du CO^2.	Solubilité en 100 p. d'eau.
1	0°	0,0163 gram	2,7	11,90
2	0°	0,0163 "	2,7	11,92
3	3°,0	0,0193 "	3,0	12,99
4	8°,4	0,0229 "	3,1	15,17
5	12°,5	0,0363 "	4,4	17,10
6	17°,1	0,0489 "	5,4	19,35
7	20°,9	0,0721 "	7,2	21,56
8	22°,8	0,0831 "	8,0	22,59
9	26°,2	0,0963 "	8,7	24,65
10	29°,9	0,1163 "	9,7	27,00

Finalement, je dois encore faire remarquer que, dans toutes mes déterminations de la solubilité des trois sels étudiés, la température a été prise dans la solution même, de la manière qui a été expliquée à propos du bicarbonate de soude (p. 353). Toutes les températures indiquées sont corrigées de l'erreur du thermomètre, qui au début de ces expériences marquait 0°,2 de trop, tant à 0° qu'à 100°, et qui, à la fin du travail, accusait à peine une variation de 0°,1.

Les déterminations de la solubilité du bicarbonate de soude, rapportées ci-dessus, ont en outre été calculées par moi de la même manière que celles des deux autres bicarbonates, c'est-à-dire, en y apportant la correction relative à la perte d'acide carbonique; cette correction est toutefois, pour ce sel, plus faible que pour les deux autres, et ne s'élève qu'à quelques centièmes dans le nombre de la solubilité. Les valeurs ainsi calculées en dernier lieu ont servi de base pour la composition du tableau qu'on trouve à la page suivante.

Comme, dans toutes mes déterminations, la décomposition du sel, bien que n'étant probablement pas nulle, ne pouvait avoir qu'une valeur très-petite, les nombres trouvés pour la solubilité de chacun des trois sels ne peuvent pas, à ce qu'il me semble,

s'écarter beaucoup de la vérité. Pour la raison indiquée précédemment (p. 357), ces nombres sont, toutefois, plutôt trop grands que trop petits.

Les lignes de solubilité des trois bicarbonates étudiés sont toutes les trois des courbes faibles, ne différant pas beaucoup entre elles quant à la forme, et ayant la concavité tournée vers le haut.

De l'ensemble de mes déterminations j'ai déduit les tableaux suivants, dans lesquels j'ai encore tenu compte des demi-dixièmes; c'est pour cela que le chiffre 5 figure seul à la seconde décimale.

Solubilité en 100 *parties d'eau.*

Température.	Bicarbonate de potasse.	Bicarbonate de soude.	Bicarbonate d'ammoniaque.
0°	22,45	6,9	11,9
1	22,95	7,0	12,25
2	23,45	7,1	12,6
3	24,0	7,2	12,95
4	24,5	7,35	13,35
5	25,0	7,45	13,7
6	25,55	7,6	14,1
7	26,1	7,7	14,55
8	26,6	7,85	15,0
9	27,15	8,0	15,4
10	27,7	8,15	15,85
11	28,2	8,25	16,3
12	28,75	8,4	16,8
13	29,3	8,55	17,3
14	29,85	8,7	17,8
15	30,4	8,85	18,3
16	30,95	9,0	18,8
17	31,5	9,15	19,35
18	32,1	9,3	19,9
19	32,65	9,45	20,45
20	33,2	9,6	21,0
21	33,8	9,75	21,6
22	34,35	9,9	22,15

Température.	Bicarbonate de potasse.	Bicarbonate de soude.	Bicarbonate d'ammoniaque.
23°	34,9	10,05	22,7
24	35,5	10,2	23,3
25	36,1	10,35	23,9
26	36,65	10,5	24,5
27	37,25	10,65	25,1
28	37,8	10,8	25,75
29	38,4	10,95	26,35
30	39,0	11,1	27,0
31	39,6	11,25	
32	40,2	11,4	
33	40,8	11,55	
34	41,45	11,7	
35	42,05	11,9	
36	42,7	12,05	
37	43,3	12,2	
38	43,95	12,35	
39	44,6	12,5	
40	45,25	12,7	
41	45,9	12,9	
42	46,55	13,05	
43	47,2	13,2	
44	47,9	13,4	
45	48,6	13,55	
46	49,3	13,75	
47	50,0	13,9	
48	50,7	14,1	
49	51,4	14,3	
50	52,15	14,45	
51	52,9	14,65	
52	53,65	14,85	
53	54,4	15,0	
54	55,15	15,2	
55	55,9	15,4	
56	56,7	15,6	
57	57,5	15,8	
58	58,3	16,0	
59	59,1	16,2	
60	60,0	16,4	

IV. Sur la tension de l'acide carbonique dans les dissolutions des bicarbonates alcalins.

Pour déterminer, au moins en quelque sorte, la grandeur de la tension de l'acide carbonique libre dans les solutions saturées des bicarbonates alcalins, j'ai fait quelques expériences spéciales, en procédant de la manière suivante. Le flacon, dans lequel devait être préparée la solution saturée, étant rempli presque entièrement de sel et d'eau, on le fermait avec un bouchon percé d'une ouverture, où passait un tube de verre deux fois recourbé, qui près de son extrémité (la plus éloignée du flacon) portait un robinet de verre à double voie. Après que le bouchon avait été bien adapté, on fermait le robinet; puis le flacon, placé dans une cuve d'eau, était secoué. Quand on jugeait la solution saturée, l'extrémité inférieure du robinet était reliée à un tube en U placé verticalement, qui servait de manomètre et dont l'une des branches avait environ deux décimètres de long, l'autre environ un mètre. Du mercure était versé dans la longue branche, et, à l'aide de la seconde voie du robinet, le tube pouvait être rempli exactement jusqu'à l'orifice de celui-ci. On ajoutait alors encore du mercure dans la longue branche, puis le robinet était disposé de façon que le flacon se trouvât en communication avec le manomètre. En ajoutant du mercure, ou en tournant le robinet de manière à en soutirer, il était facile d'obtenir que le mercure — la communication étant établie entre le flacon et le manomètre — s'arrêtât juste dans le robinet. La différence de hauteur du mercure dans les deux branches du manomètre était alors mesurée, ce qui donnait la tension du gaz sans changement de volume.

Lorsque je voulais déterminer la tension à une température plus élevée, le robinet était fermé, le manomètre détaché, l'eau de la cuve chauffée à une température déterminée, et le flacon secoué pendant longtemps, la température étant maintenue constante autant que possible. Ensuite le manomètre était de nouveau relié au flacon, et en ajoutant ou soutirant du mercure, on mesurait la tension ainsi qu'il a été dit ci-dessus.

Cette manière d'expérimenter n'a, sans doute, pas un grand degré d'exactitude. La tension observée dépend en effet, même à température constante, d'une foule de circonstances, telles que : le volume du mélange de CO^2 et d'air qui occupe la capacité au-dessus de la solution (dans le flacon et dans le tube jusqu'au robinet), ou plutôt le rapport entre ce volume et celui de la solution; la diminution de volume que le mélange de sel et d'eau éprouve quand on l'agite, par le fait de la dissolution du sel; la compressibilité du bouchon; la compressibilité du verre, etc. Si, en outre, on élève la température, la tension est encore modifiée, non-seulement par l'augmentation de la quantité d'acide carbonique devenu libre dans la solution, mais aussi par les circonstances suivantes: la dilatation du liquide, laquelle restreint d'autant le volume du gaz qui repose sur lui; la dilatation du verre; l'accroissement de tension de l'air primitivement inclus dans le tube; l'accroissement de tension de la vapeur d'eau; le changement de compressibilité du bouchon et du verre, etc. Pour ce motif, je n'ai fait avec cet appareil qu'un petit nombre de déterminations, dont voici les résultats:

Bicarbonate de potasse.

Deux déterminations. Pour II, le flacon avait été rempli de nouveau. Dans les deux cas, le flacon fut bouché à 15°.

	Temp. de la saturation.	Hauteur du mercure.
I	15°	440 millim.
II	15°	482 »
	Moyenne :	461 »

Bicarbonate de soude.

Le flacon fut fermé à 15°.

Temp. de la saturation.	Hauteur du mercure.
15°	120 millim.
30°	282 »
40°	484 »
50°	750 »

Le flacon ayant été rempli d'*eau pure*, je trouvai, après l'avoir fermé à 15°:

Température.	Hauteur du mercure.
15°	0 millim.
30°	70 "
40°	128 "
50°	187 "

Si ces pressions, qui résultent de la tension de la vapeur d'eau et de la tension de l'air inclus, toutes deux croissantes quand on chauffe, sont retranchées des pressions ci-dessus, on obtient:

Temp. de la saturation.	Tension de CO^2.
15°	120 millim. de mercure.
30°	212 " " "
40°	356 " " "
50°	563 " " "

Bicarbonate d'ammoniaque.

Le flacon fut fermé à 14°,5.

Temp. de la saturation.	Hauteur du mercure.
14°,5	720 millim.

c'est-à-dire, une tension de presque une atmosphère au-dessus de la pression de l'air.

Lorsque, pour chacun de ces sels, on laisse échapper l'excès de gaz, en ouvrant un instant le robinet, puis le refermant aussitôt, il recommence à se dégager peu à peu de l'acide carbonique, et la tension, qui était devenue = 0, augmente de nouveau. Cet accroissement est d'abord assez rapide, ensuite plus lent. Avec le bicarbonate de potasse (Exp. I), par exemple, la tension, 2 heures après que le robinet eut été ouvert puis refermé, s'élevait de nouveau à 82 millim., et au bout de 24 heures elle atteignait 400 millim. de mercure, ou presque la valeur primitive, tandis que la température était restée tout ce temps stationnaire, au moins à ½° près. Avec le bicarbonate d'ammoniaque, la tension était remontée, 24 heures après la double manœuvre du robinet,

à 355 millim., et elle continua encore à croître, sans variation sensible de la température. Quand on supprime la tension, les dissolutions abandonnent donc de nouveau de l'acide carbonique, mais un long intervalle de temps est nécessaire pour que l'équilibre se rétablisse.

Vu la complication du phénomène, je m'abstiens, pour le moment, de pousser plus loin l'étude de ces tensions. Ce que je viens d'en dire suffit pour donner une idée de leur grandeur, et pour expliquer complètement les phénomènes décrits par H. Rose [1]), savoir, que les solutions de bicarbonate de potasse et de bicarbonate de soude, abandonnées à l'air ou dans le vide, ou bien évaporées, perdent de l'acide carbonique et se transforment finalement en carbonates neutres.

Avant de finir, encore une remarque concernant le *bicarbonate d'ammoniaque.*

J'ai mentionné plus haut (p. 365) le fait que ce sel, à l'état solide, s'évapore déjà à la température ordinaire, et cela sans que la composition du résidu se trouve altérée. Or il serait intéressant de déterminer la densité de vapeur de ce sel à différentes températures et sous différentes pressions, attendu qu'une décomposition ou dissociation, à l'état de vapeur, est ici à prévoir. Pour l'examen des particularités accompagnant cette dissociation présumée, le sel conviendrait peut-être tout aussi bien que le *carbaminate d'ammoniaque*, étudié à ce point de vue par M. Naumann [1]), et qui d'après ce chimiste ne saurait exister comme tel sous forme de vapeur, 1 molécule du sel se dédoublant en 1 mol. CO^2 et 2 mol. NH^3. Dans l'hypothèse de la dissociation du *bicarbonate d'ammoniaque*, 1 molécule se partagerait en 1 mol. CO^2, 1 mol. NH^3 et 1 mol. H^2O, et par conséquent, en cas de décomposition *complète*, la densité de vapeur devrait être trouvée (de même que chez le carbaminate d'ammoniaque) *trois fois* plus petite que la densité calculée.

Amsterdam, Oct. 1874.

---

[1]) Pogg. *Ann.* 34, p. 149.

[1]) *Ann. Chem. Pharm.* t. 160 p. 1.

ENDOTHÉLIUM ET ÉMIGRATION,

PAR

LAIDLAW PURVES.

Le but des observations que je vais communiquer était de rechercher quels sont les changements qui ont lieu dans l'endothélium des veines et des capillaires pendant les premières phases du phénomène inflammatoire. Je voulais savoir, en premier lieu, si, avant le début de l'émigration des corpuscules sanguins, les parois des vaisseaux ne montreraient pas déjà des changements, qu'il conviendrait de regarder comme préparatoires à cette émigration. Secondement, j'espérais déterminer, avec plus de précision qu'on ne l'a fait jusqu'ici, la voie par laquelle les corpuscules sanguins traversent l'endothélium; il s'agissait, en particulier, d'essayer de résoudre la question, très controversée et encore indécise, de l'existence de stomates préformés dans l'endothélium normal des vaisseaux, et, en cas de solution négative, de reconnaître où et comment se forment les ouvertures par lesquelles l'émigration s'effectue. Enfin, je me proposais d'examiner comment les stomates et l'endothélium se comportent dans les premiers temps après le passage des corpuscules.

Les expériences ont porté exclusivement sur le mésentère de grandes grenouilles mâles (*Rana esculenta* et *temporaria*); la méthode que j'ai suivie dans ces recherches est la suivante.

La grenouille est empoisonnée par une dose de curare tout juste suffisante pour produire la paralysie, ou bien elle est rendue

immobile au moyen d'une aiguille, qu'on enfonce par la voûte du crâne jusqu'au bas de la moelle épinière. Les intestins grêles et le mésentère étant alors amenés avec précaution au jour, à travers une petite incision faite dans ce but à la paroi abdominale, le mieux au côté droit, on étend le mésentère, — à l'aide de quatre ou cinq courtes épingles, qui fixent l'intestin sur un anneau de liége, — dans une position horizontale, en ayant soin qu'il se trouve tiraillé aussi peu que possible. On doit éviter dans cette opération l'effusion du sang. — Si l'on se propose d'étudier les vaisseaux dans une phase plus avancée de l'inflammation, le mésentère ne doit pas être tendu, parce qu'il en résulte aisément, dans beaucoup de vaisseaux, la stase du sang et un obstacle à l'injection; il faut se borner alors à le fixer au dehors par une seule épingle. Cette dernière précaution est nécessaire pour empêcher que les intestins, par suite des contractions de leurs muscles, ne se retirent de nouveau dans la cavité abdominale. — La grenouille est conservée dans un espace entièrement saturé de vapeur d'eau, et de temps en temps on observe au microscope l'état des vaisseaux du mésentère. La circulation doit encore pouvoir continuer, dans la majeure partie des vaisseaux, pendant au moins 2—3 jours.

Lorsque l'inflammation est arrivée au point convenable, — ce qui doit être décidé par l'examen microscopique du mésentère à un grossissement de 100—200 fois, attendu que le temps seul est un guide insuffisant, — on met le cœur à nu, on entoure d'un fil les deux aortes, et, par une incision faite au bulbe artérieux, on introduit une fine canule, remplie du liquide à injection, dans une des deux aortes. La boucle du fil est alors serrée. Ensuite on injecte environ 1 once d'une solution de nitrate d'argent à $\frac{1}{5}$—$\frac{1}{10}$ pour cent, après avoir pratiqué une ouverture à la veine cave ou au cœur, pour laisser échapper le sang et le superflu du liquide injecté.

On reconnaît que l'injection a bien pénétré dans les vaisseaux, au changement de couleur des divers organes, spécialement du foie, et aux crampes tétaniques des muscles de la grenouille. Au

bout de quelques minutes (5—10), la seringue, préalablement un peu chauffée, est remplie d'une solution de gélatine dans l'eau distillée, puis cette solution est injectée à son tour. Pour empêcher tout à fait que, dans les manipulations ultérieures, la solution de gélatine ne s'écoule de nouveau des vaisseaux, on lie la racine du mésentère de l'intestin grêle, puis on laisse la gélatine se coaguler par le refroidissement. La préparation peut alors être placée dans un mélange de glycérine et d'eau (10 p. c.), avec ou sans addition d'un peu d'acide acétique.

De cette manière, il est possible d'obtenir une image claire et nette de l'endothélium, sans donner lieu à beaucoup de précipité et sans colorer sur une trop grande étendue les corps des cellules endothéliales; en outre, on prévient ainsi l'affaissement des parois des vaisseaux capillaires, qui se produit presque toujours quand on n'injecte pas de gélatine, et qui empêche alors de juger sainement de la situation relative des cellules endothéliales, soit entre elles, soit par rapport aux corpuscules du sang. En même temps que les cellules de l'endothélium, il importe beaucoup de conserver inaltérés, quant à leur forme et à leurs caractères, les corpuscules blancs et rouges du sang, et de les rendre bien apparents par l'injection. Pour cela, il est nécessaire que la solution argentique ne soit pas trop faible, car autrement les corpuscules sanguins se gonflent, pâlissent et même se détruisent complétement. Les solutions à $\frac{1}{10}$ pour cent sont déjà trop étendues; une concentration à $\frac{1}{5}$—$\frac{1}{7}$ pour cent paraît convenir le mieux. Les solutions plus fortes, telles qu'on les emploie ordinairement, doivent être évitées, attendu qu'elles donnent des images très inégales, troublées par toutes sortes de précipitations, de colorations, etc. M. Robinsky a attiré avec raison l'attention sur ce point.

Lorsqu'on a maintenant injecté, par la méthode décrite, les vaisseaux d'un *mésentère sain*, on trouve que *chaqne* cellule de l'endothélium montre un contour obscur bien limité, qui est partout appliqué immédiatement contre la paroi de la cellule voisine, *sans stomates*, ni *entre*, ni *dans* les cellules. Cela est vrai d'une manière tout à fait générale, pour les artères, les veines et les

capillaires, alors même que, par suite d'injection sous très haute pression, tous les vaissaux sont distendus à l'excès. De ce dernier fait, il suit que *l'adhesion entre les cellules de l'endothélium est très grande*, et que *le corps même des cellules endothéliales possède une grande extensibitité*. Dans le tissu extérieur aux vaisseaux on peut voir quelquefois un corpuscule blanc du sang, et il y en a parfois aussi un de fixé au côté interne de la paroi vasculaire, au moins dans les vénules et les capillaires. Les mêmes résultats m'ont été offerts par des mésentères qui avaient déjà été exposés à l'air pendant plusieurs heures, et qui montraient çà et là un commencement d'accumulation et d'émigration de leucocytes. Les cellules de l'endothélium, ainsi que leurs noyaux, étaient à ce moment encore parfaitement normales. Même dans un stade plus avancé de l'inflammation, en des points où beaucoup de corpuscules sanguins ont déjà traversé la paroi du vaisseau, on réussit assez souvent à obtenir des images qui ne diffèrent des images tout à fait normales que par la présence d'un nombre plus ou moins grand de leucocytes, et aussi d'hématies, à la face interne et à la face externe de la paroi vasculaire, et *dans la paroi vasculaire elle-même*, toujours *entre* les cellules de l'endothélium. Là seulement où un corpuscule du sang se tronve en partie dans la paroi vasculaire, en partie en dehors, les cellules de l'endothélium ne se touchent pas directement; partout ailleurs, les choses se présentent comme dans l'état normal: *nulle trace de stomates*, nul signe d'un changement des cellules endothéliales ou de leurs noyaux.

Il est vrai que, lorsque les mésentéres sont parvenus à une période très avancée de l'inflammation, les résultats de l'injection ne sont plus tout à fait uniformes; l'injection reste alors presque toujours incomplète, certaines vénules et certains capillaires ne se gonflant pas, à cause de leur obstruction par des corpuscules du sang, surtout par des blancs. De préférence au voisinage de pareils vaisseaux, et même quand on injecte une solution argentique très diluée (à $\frac{1}{10}$ pour cent, par exemple), il se forme alors souvent, à la face interne des cellules de l'endothélium, et plus

spécialement entre les cellules, des précipités irréguliers, qui ne tardent pas à brunir sous l'influence de la lumière. Ils ont des dimensions très variables (jusqu'à 0,003 mm.) et la forme de globules ou d'anneaux, rarement celle de granules anguleux. La preuve que ce ne sont pas des stomates résulte de leur couleur brune, même au centre, ainsi que de leur situation à la face interne de la paroi vasculaire, situation qui, à l'aide de très forts grossissements (Zeiss F.) et d'une bonne vis micrométrique, se laisse constater avec certitude dans de fins vaisseaux capillaires, même par l'examen d'images en profil. Ces précipités ressemblent par tous leurs caractères à ceux qu'on observe aussi, fréquemment, dans les vaisseaux normaux, tant artères que veines et capillaires, surtout à la suite d'une injection rapide de solutions assez fortes de nitrate d'argent ($\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ pour cent). Comme d'ailleurs ils manquent entièrement dans beaucoup de vaisseaux où, au moment de l'injection, se faisait ou s'était déjà faite une émigration active, ils ne peuvent être regardés comme le signe d'une altération pathologique de la paroi vasculaire.

Les figures de la Planche V donnent une idée de la manière dont s'effectue le passage des corpuscules du sang entre les cellules de l'endothélium. La fig. 1 montre une portion de l'endothélium d'une veine (d'environ 0,2 mm. de diamètre), la fig. 2 une portion d'un des vaisseaux capillaires d'un fragment de mésentère qui était resté exposé à l'air pendant 48 heures. Dans toutes les deux, on voit que les cellules de l'endothélium se joignent parfaitement, sauf à la place où un leucocyte traverse la membrane. Là où les cellules de l'endothélium embrassent le leucocyte, leurs bords sont beaucoup moins sinueux qu'ailleurs, ce qui s'explique par l'extension passive des parois des cellules, sous l'effort du corpuscule qui s'insinue entre elles.

Il ne peut plus, en effet, y avoir de doute que les corpuscules blancs se fraient activement leur chemin entre les cellules de l'endothélium, qu'ils commencent par conséquent par faire eux-mêmes les ouvertures qui doivent leur livrer passage. Cela est d'accord avec le fait que non-seulement les stomates manquent

complétement dans les vaisseaux à l'état normal, mais que, avec notre méthode d'injection, ils font aussi habituellement défaut là où a déjà eu lieu une forte émigration. Cette dernière circonstance ne peut s'expliquer qu'en admettant que, après la sortie des corpuscules blancs du sang, *les stomates*, qu'ils avaient formés, *se referment de nouveau par suite de l'élasticité des parois des cellules de l'endothélium.* Si ces ouvertures persistaient, le nombre des corpuscules *rouges* du sang trouvés en dehors de la paroi vasculaire, dans une phase encore relativement récente de l'inflammation, devrait aussi être beaucoup plus considérable que cela n'est en réalité le cas. Selon toute apparence, il ne sortirait pas d'hématies du tout, si les stomates se refermaient immédiatement derrière les leucocytes; car ces hématies, en leur qualité d'éléments non contractiles, ne peuvent sortir que passivement, à travers des ouvertures préformées. Or puisqu'elles émigrent, et toujours, à ce qu'il m'a semblé, en des points où peu de temps auparavant un leucocyte a quitté la cavité du vaisseau, on doit admettre que les stomates, bien que se refermant assez vite, ne disparaissent pourtant pas aussitôt après le passage du premier corpuscule. La méthode suivie pour l'examen ne peut être la cause qu'on ne trouve plus de stomates aprés l'émigration. Au contraire, l'injection, surtout sous une pression aussi forte que celle à laquelle j'ai eu fréquemment recours, doit favoriser la formation de fentes et d'ouvertures entre les cellules de l'endothélium.

En ce qui concerne les points de sortie des leucocytes, je dois encore faire remarquer que je n'ai jamais vu un corpuscule du sang traverser le corps d'une cellule de l'endothélium. Souvent on observe bien un corpuscule appliqué au centre de la paroi interne d'une cellule de l'endothélium, mais toujours, ainsi qu'on peut s'en assurer à l'aide des grossissements les plus puissants et de la vis micrométrique, ce corpuscule se trouve en entier sur la face interne de la cellule, et n'envoie aucun prolongement au dehors, à travers le corps de l'élément.

L'émigration a donc lieu exclusivement par le *passage entre les cellules*, quelquefois juste au point où trois cellules se touchent,

mais, dans le cas le plus ordinaire, entre deux cellules seulement, et alors, à ce qu'il m'a paru, de préférence au voisinage d'une des extrémités de la cellule.

En terminant, je veux encore insister sur le fait que, même dans les phases les plus avancées de l'inflammation, jusqu'à 48 heures après le commencement d'une émigration active, je n'ai pu découvrir aucun changement caractéristique, ni aux cellules endothéliales des capillaires, ni à celles des veines, et qu'en particulier je n'ai rien vu qui annonçât une prolification ou multiplication des cellules ou de leurs noyaux.

Laboratoire physiologique de l'université d'Utrecht, Avril 1873.

SUR LES ACIDES OCTYLIQUE ET CAPRYLIQUE,

PAR

J. J. VAN RENESSE.

A l'occasion de mes recherches sur la composition de l'huile essentielle retirée des fruits du *Pastinaca sativa* L., j'ai soumis l'acide octylique et l'acide caprylique à une étude comparée, dont je vais communiquer les principaux résultats. L'acide caprylique fut obtenu au moyen de l'huile de coco, qui, saponifiée et ensuite acidifiée par l'acide sulfurique, donna un mélange abondant d'acides gras libres. Ce mélange, consistant en acides caproïque, caprylique, caprique et laurique, fut distillé avec des vapeurs d'eau, opération dans laquelle il passa d'abord un mélange des trois premiers acides et finalement aussi un peu d'acide laurique.

Ce dernier est facile à reconnaître, car il se fige immédiatement dans le récipient.

La partie liquide fut séchée, et ensuite soumise à la distillation fractionnée.

Après que les acides caproïque et caprique eurent été séparés en majeure partie, le produit recueilli entre 220° et 240° fut mêlé avec de l'hydrate de baryte, digéré au bain-marie jusqu'à réaction alcaline, et débarrassé de l'excès de baryte par l'acide carbonique; au moyen de cristallisations répétées, le caprylate de baryum fut alors obtenu parfaitement pur.

0,2241 gr. séchés à 120° C. donnèrent 0,1227 Ba SO_4 = 0,0720 Ba.

La formule Ba $(C_8H_{15}O_2)_2$ exige en centièmes:

	Calculé.	Trouvé.
Ba	32,38	32,12.

L'acide ayant été dégagé par l'acide chlorhydrique de sa combinaison avec la baryte, la couche huileuse fut enlevée, lavée à l'eau, puis séchée. Dans la distillation fractionnée subséquente,

on recueillit séparément la portion qui passa entre 230° et 234°.

L'acide octylique fut préparé en oxydant l'alcool octylique à l'aide du bichromate de potasse et de l'acide sulfurique. Ainsi que je l'ai établi ailleurs [1]), cet alcool était l'alcool normal, et complétement identique à celui qui a été décrit par M. Zincke [2]); il devait donc aussi fournir un acide normal.

L'acide octylique obtenu se solidifiait promptement à basse température, et il fut exprimé plusieurs fois, après liquéfaction et solidification préalables, entre des doubles de papier.

Acide caprylique. — Par son aspect extérieur, ce corps ressemble tout à fait à l'acide octylique. Il cristallise en lamelles à environ 10°, fond vers 16° à 16°,5 et bout, sous la pression de 761,7 mm., entre 236° et 237° (colonne mercurielle enveloppée tout entière par la vapeur [3])).

Caprylate d'éthyle. — Il fut préparé en mélangeant 1 partie d'acide caprylique, 1 partie d'alcool à 98 % et ½ partie d'acide sulfurique. De la chaleur se dégagea; le liquide se troubla d'abord, mais au bout de peu de temps il était séparé en deux couches parfaitement limpides. Après un repos de 24 heures, la couche supérieure fut enlevée, lavée à différentes reprises avec de l'eau et séchée au moyen du chlorure de calcium.

C'est un liquide incolore, insoluble dans l'eau, facilement soluble dans l'alcool et l'éther, possédant une très agréable odeur de fruit. Son poids spécifique était à 0° C. = 0,8871, à 16° = 0,8730; le point d'ébullition, sous la pression de 753,1 mm. se maintint constamment entre 207° et 208° C.

Caprylate de baryte. — Ce sel se dépose, pendant le refroidissement rapide d'une dissolution concentrée, en jolies lamelles, qui possèdent un bel éclat nacré et ne renferment pas d'eau de cristallisation [4]). Pour déterminer sa solubilité, un excès du sel bien pulvérisé fut laissé tout un jour en contact avec l'eau à une

---

[1]) *Ann. d. Chem. u. Pharm.*, t. 166, p. 81.

[2]) *Ibid.*, t. 152, p. 3.

[3]) Ceci s'applique à toutes les déterminations de points d'ébullition.

[4]) La dosage du baryum a déjà été rapporté ci-dessus.

température constante de 20° C., en ayant soin de bien secouer le mélange tous les quarts d'heure [1]) :

5,8764 parties d'eau dissolvent à 20° C. 0,0367 gr. de sel, de sorte que 100 parties d'eau en dissolvent 0,624 parties.

Caprylate de chaux. Ca $(C_8H_{15}O_2)_2 + H_2O$. — Obtenu en précipitant la solution aqueuse du sel ammonique au moyen d'une solution neutre de chlorure de calcium. Il est très semblable au sel barytique, mais se dissout beaucoup plus difficilement. Ce n'est qu'à 130° C. qu'il abandonne toute son eau.

0,4023 gr. de sel séché à l'air perdirent 0,0212 H^2O; en centièmes:

Calculé.	Trouvé.
5,24	5,26.

0,3677 gr. de sel anhydre donnérent par la calcination

0,0635 Ca 0 = 0,0453 Ca;

en centièmes:

Calculé.	Trouvé.
12,27	12,43.

Caprylate de zinc Zn $(C_8H_{15}O_2)_2$. — Quand on ajonte à la dissolution du sel ammonique une solution de sulfate de zinc, il se forme un précipité blanc, qui se dissout très difficilement dans l'eau bouillante, mais mieux dans une grande quantité d'alcool bouillant. Pendant le refroidissement de la solution alcoolique, le sel se sépare en belles écailles blanches et brillantes, qui ne renferment pas d'eau de cristallisation et fondent entre 135° et 136° C.

0,2486 gr. du sel séché à l'air donnèrent 0,0506 Zn 0 = 0,0470 Zn; en centièmes:

Calculé.	Trouvé.
18,56	18,90.

Acide octylique. — Cet acide a déjà été décrit avec soin par M. Zincke [2]). Pour pouvoir le comparer exactement avec l'acide

[1]) Je crois que les déterminations de solubilité se font mieux de cette manière que par l'emploi d'eaux-mères de cristallisation, cette dernière méthode pouvant accidentellement donner lieu à des phénomènes de saturation anormale.

[2]) *Ann. d. Chem. u. Pharm.*, t. 152, p. 9.

caprylique, j'ai toutefois répété ces expériences, et j'ai obtenu tout à fait les mêmes résultats. Seulement, j'y ai ajouté quelque chose et j'ai détermiué les points d'ébullition en laissant la colonne mercurielle tout entière dans la vapeur.

	ACIDE OCTYLIQUE.	ACIDE CAPRYLIQUE.
$C_8H_{16}O_2$	Bout, à la pression de 757,8 mm., entre 235° et 236°; fond vers 16° à 17°.	Bout, à la pression de 761,7 mm., entre 236° et 237°; fond vers 16° à 16°,5.
$C_2H_5.C_8H_{15}O_2$	Bout, à la pression de 762,2 mm., entre 207° et 208°; poids spéc. à 0° = 0,8866, à 16° = 0,8732.	Bout, à la pression de 753,1 mm., entre 207° et 208°; poids spéc. à 0° = 0,8871, à 16° = 0,8730.
$Ba(C_8H_{15}O_2)_2$	Cristallise en lamelles, qui ne renferment pas d'eau de cristallisation. 100 parties d'eau dissolvent à 20° C. 0,6101 parties de ce sel.	Cristallise en lamelles, qui ne renferment pas d'eau de cristallisation. 100 parties d'eau dissolvent à 20° C. 0,6204 parties de ce sel.
$Ca(C_8H_{15}O_2)_2 + H_2O$	Cristallise avec 1 mol. d'eau, que le sel abandonne à 130°.	Cristallise avec 1 mol. d'eau, que le sel abandonne à 130°.
$Zu(C_8H_{15}O_2)_2$	Cristallise en belles écailles, qui ne renferment pas d'eau de cristallisation. Le sel fond à 136°.	Belles lamelles, sans eau de cristallation. Le sel fond entre 135° et 136°.

M. Zincke, s'appuyant sur les résultats obtenus par MM. Lerch, Fehling et Felletar [1]), termine ses considérations au sujet de ces deux acides par les mots suivants: „Pour le moment, toutefois, il ne nous reste qu'à regarder les deux acides comme isomères, et en conséquence j'ai choisi le nom *d'acide octylique*". Mes recherches n'ont pas confirmé cette conclusion, mais ont au contraire rendu probable que les deux acides sont identiques; cela s'accorde aussi très bien avec l'opinion de M. Lieben [2]), suivant laquelle l'acide caproïque contenu dans les corps gras naturels doit être regardé comme l'acide normal.

Ces recherches ont été exécutées dans le laboratoire de M. le professeur Oudemans, à Delft.

[1]) Pour l'acide caprylique.

[2]) *Ann. d. Chem. u. Pharm.*, t. 170, p. 189.

Fig. 1
550/1.

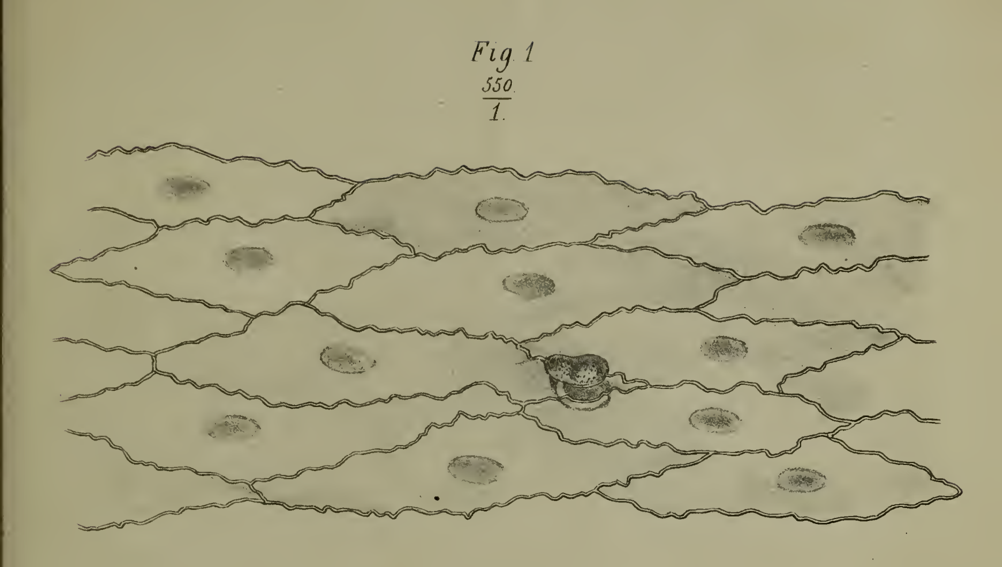
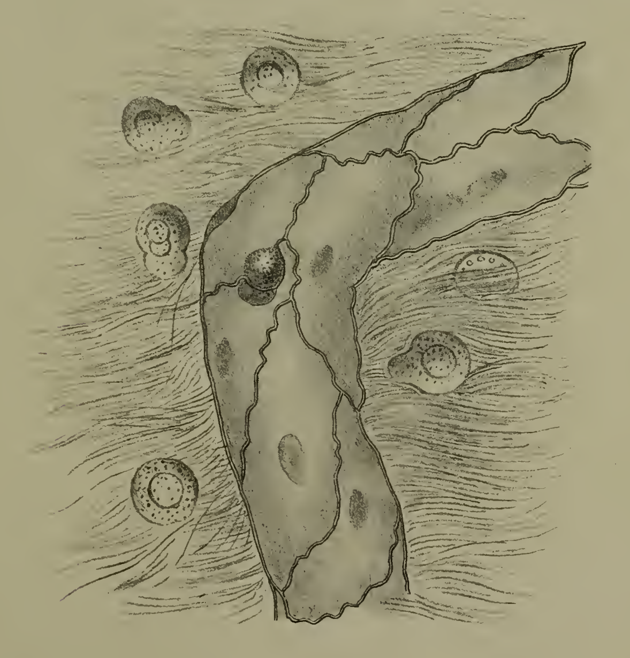


Fig. 2.
700/1



TOME IX. 5me Livraison.

ARCHIVES NÉERLANDAISES

DES

SCIENCES EXACTES ET NATURELLES

PUBLIÉES PAR

LA SOCIÉTÉ HOLLANDAISE DES SCIENCES À HARLEM,

ET RÉDIGÉES PAR

E. H. VON BAUMHAUER

Secrétaire de la Société,

AVEC LA COLLABORATION DE

MM. D. Bierens de Haan, C. A. J. A. Oudemans, W. Koster
C. H. D. Buijs Ballot et S. C. Snellen van Vollenhoven.

LA HAYE
MARTINUS NIJHOFF.

BRUXELLES C. MUQUARDT. — PARIS AUG. DURAND. — LEIPZIG T. O. WEIGEL.

LONDRES TRÜBNER & C°. — WILLIAMS & NORGATE. — NEW-YORK B. WESTERMANN & C°. — F. W. CHRISTERN.

1874.

ARCHIVES NÉERLANDAISES

DES

Sciences exactes et naturelles.

SUR LES COMÈTES 1860 III, 1863 I ET 1863 VI,

PAR

M. HOEK [1]).

1. J'admets que les orbites des comètes sont de leur nature des paraboles ou des hyperboles, et que, dans les cas où l'on rencontre des orbites elliptiques, celles-ci sont occasionnées par l'attraction planétaire, ou bien doivent leur caractère à l'incertitude de nos observations. Admettre le contraire, serait reconnaître certaines comètes comme membres permanents de notre système planétaire, auquel elles devraient avoir appartenu depuis son

[1]) Bien que les deux Notices de M. Hoek, auxquelles les *Archives* font aujourd'hui une place, aient déjà dix ans de date, la Rédaction ne croit pas avoir à se justifier de cette dérogation aux règles ordinaires. Le savant et modeste astronome, dont l'Université d'Utrecht a eu récemment à déplorer la perte prématurée, s'était contenté d'exposes ses vues dans les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Pourtant, il était à regretter qu'elles n'eussent pas reçu une publicité plus étendue. Il est arrivé plus d'une fois, en effet, que des savants français ont pris des informations spéciales pour savoir où il fallait chercher la théorie de M. Hock sur les orbites cométares. D'autres fois, on a complétement oublié que notre compatriote s'était occupé de cette question avec autant d'originalité que de succès, et on a rapporté à M. Sciaparelli seul l'honneur des idées qui ont cours actuellement dans la science. Nous croyons donc devoir à la mémoire de M. Hoek de reproduire, quoique tardivement, un travail qui a contribué, d'une manière si notable, à perfectionner nos connaissances relativement à l'origine et aux mouvements des comètes.

origine; ce serait soutenir, par conséquent, la naissance simultanée de ce système et de ces comètes. Pour moi, j'attribue à ces astres un caractère primitivement errant. Voyageant à travers l'espace, ils se meuvent d'une étoile à une autre, pour de nouveau quitter celle-ci, à moins qu'ils ne rencontrent un obstacle qui les force à rester dans sa sphère. Au voisinage de notre Soleil, Jupiter a été un pareil obstacle pour les comètes de Lexell et de Brorsen, et probablement pour la plus grande partie des comètes périodiques; le restant de celles-ci est sans doute redevable de ses orbites elliptiques à l'attraction de Saturne et des autres planètes.

En général, les comètes nous arrivent donc de l'une ou de l'autre étoile. L'attraction de notre Soleil modifie leur orbite, comme l'avait déjà fait chacune des étoiles dont elles ont traversé la sphère d'action. On peut poser la question de savoir si elles arrivent à l'état de corps isolés ou bien réunies en systèmes. C'est cette question que j'ai entrepris d'examiner. Depuis quelque temps déjà j'avais senti la vérité de la proposition suivante:

Il y a dans l'espace des systèmes de Comètes, qui sont dissous par l'attraction de notre Soleil, et dont les membres, sous forme de corps isolés, atteignent le voisinage de la Terre durant un laps de plusieurs années.

Pour établir cette proposition, nous devons montrer:

Premièrement, que certaines comètes se sont trouvées jadis rapprochées l'une de l'autre, à une grande distance du Soleil;

Secondement, qu'elles composaient un système et n'avaient pas été réunies par le hasard.

2. Le premier de ces deux points nous conduit à rechercher s'il y a eu, à un moment donné, plusieurs comètes se trouvant non-seulement dans la même direction, mais aussi à des distances presque égales du Soleil.

L'équation polaire de la parabole peut être écrite:

$$\cos\theta = \frac{p}{r} - 1,$$

où l'on voit que, r croissant jusqu'à l'infini, $\cos\theta$ tend vers -1 et θ lui-même vers 180°. Nous pouvons donc dire qu'en entrant

dans la sphère d'attraction de notre Soleil, chaque comète occupe sur cette sphère une position opposée à celle du périhélie de son orbite. Appelons cette position l'aphélie, suivant l'usage adopté en parlant d'orbites elliptiques; la première chose que nous ayons à faire est de chercher s'il est apparu des comètes dont les positions sur la sphère, à l'aphélie, sont à peu près identiques.

Lorsqu'il s'agit d'orbites hyperboliques, l'équation devient

$$\cos\theta = \frac{1}{1+\alpha}\left(\frac{p}{r}-1\right),$$

où α indique l'excès de l'excentricité sur l'unité, et comme cette quantité α est ordinairement très petite, je l'ai négligée [1].

J'ai donc commencé par calculer la position aphélie de 65 comètes qui ont apparu dans les années 1844—65, et j'ai groupé ensemble tous les cas où la distance angulaire ne surpasse pas 10°. Ces cas sont donnés par les comètes:

1844 II.	1845 I.	1846 VII.	1848 I.	1854 II.
45 II.	46 V.	47 II.	59	58 IV.
	46 VIII.			
1854 V.	1855 I.	1857 III.	1857 VI.	1860 III.
61 III.	61 I.	57 V.	60 II.	63 I.
				63 VI.

formant un total de dix combinaisons, qui répondent, d'une manière plus ou moins satisfaisante, à la première condition.

Pour le moment, je ne fixerai l'attention du lecteur que sur les deux cas dans lesquels trois comètes se trouvent réunies. Ces cas sont les suivants:

Comètes.	Positions aphélies. Long.	Lat.	Comètes.	Positions aphélies. Long.	Lat.
	°	°		°	°
1845 I.	280,5	— 41,6	1860 III.	303,1	— 73,2
46 V.	275,3	— 55,4	63 I.	313,2	— 73,9
46 VIII.	281,0	— 49,5	63 VI.	313,9	— 76,4

[1]) La valeur $\alpha = 0{,}05$, trouvée par Hartwig pour la comète 1852 II, étant tout à fait incertaine, la plus grande valeur de α qui se présente dans la théorie cométaire est 0,02, et celle-ci donne 11° pour la distance angulaire entre l'aphélie et le point d'entrée dans la sphère d'attraction.

On remarquera immédiatement que les comètes de 1845 et 1846 ne satisfont que par couples à la limite fixée. L'accord est beaucoup meilleur en ce qui concerne les comètes de 1860 et 1863, car il faut observer que 10° de longitude, à la latitude de 73°, ne représentent qu'une distance angulaire de $3\frac{1}{3}$°.

Il ne reste maintenant plus qu'à s'assurer si leurs distances au Soleil ont été, à une certaine époque, à peu près égales. Le calcul me donne pour ces distances, exprimées en rayons de l'orbite terrestre:

Date.	Comète 1860 III.	Comète 1863 I.	Comète 1863 VI.
756,97	600,00	600,42	600,25
1020,87	500,00	500,56	500,36

de sorte que ces trois comètes remplissent aussi la seconde des deux conditions.

3. Les probabilités portent à conclure qu'elles ont composé antérieurement un système cométaire, et que nous n'avons pas affaire ici à un résultat du hasard. Mais, heureusement, il y a des moyens de décider la question.

Au moment où un pareil astre commence à ressentir la première attraction de notre Soleil, il a un mouvement initial rectiligne, dirigé vers un certain point P de la sphère. L'attraction du Soleil détermine une modification de ce mouvement primitif, mais il faut que le plan de la nouvelle orbite passe par le point P. Si donc les comètes ont composé un système, qui s'est maintenu sur le parcours d'immenses distances, il est nécessaire que le point P soit commun à chacun de ses membres. Les nouvelles orbites doivent par conséquent avoir sur la sphère un point d'intersectiou commun.

Voyons si nos comètes satisfont aussi à cette nouvelle condition. En prenant les éléments de M. Moesta pour la comète de 1860, et ceux de M. Engelmann pour les deux autres, le calcul me donne pour les positions des trois points d'intersection:

Comètes.	Points d'intersection. Long.	Lat.	
	° ′ ″	° ′ ″	
1860 III. et 1863 I.	316 42 54	— 76 31 30	Equinoxe moyen de 1864,0
1860 III. et 1863 VI.	312 18 37	— 75 39 30	
1863 I. et 1863 VI.	320 46 15	— 78 39 20	
Moyenne	316 35 55	— 76 56 42;	

l'accord est assez satisfaisant pour qu'on puisse regarder ces trois comètes comme appartenant à un système.

Le résultat est tout autre pour les orbites des comètes de 1845 et 1846. Leurs points d'intersection ont les positions suivantes :

Comètes.		Points d'intersection. Long.	Lat.	
		° '	° '	
1845 I.	et 1846 V.	171 11	— 14 53	Eq. moy. de 1846,0
1845 I.	et 1846 VIII.	249 26	— 46 49	
1846 V.	et 1846 VIII.	298 45	— 47 5	

Ces astres ne formaient donc pas un système; le rapprochement de leurs orbites était purement fortuit. Et en effet, si nous examinons les choses de plus près, nous trouvons que l'un d'eux avait un mouvement rétrograde, tandis que les deux autres possédaient un mouvement direct: différence qui, tout en n'ayant rien d'absolument impossible, est très improbable pour des astres ayant fait partie antérieurement d'un même système cométaire. Les comètes de 1860 et 1863, au contraire, ont l'une et l'autre un mouvement direct.

4. Le point d'intersection commun des trois orbites présente encore une autre signification. Je dis qu'il y a une très grande probabilité que ce point soit situé sur la sphère au voisinage du point focal autour duquel les comètes tournaient antérieurement, point focal qui est probablement occupé par quelque étoile.

Pour le prouver, nous devons rappeler combien sont nombreuses les chances pour qu'un semblable système s'approche de notre Soleil dans une orbite hyperbolique, la parabole étant presque impossible, et les orbites elliptiques maintenant généralement le système à proximité de l'étoile focale. Nous devons rappeler aussi que, dans le cas d'un pareil mouvement hyperbolique, le système cométaire, au moment où il pénètre dans la sphère d'attraction de notre Soleil, se meut suivant l'asymptote, et que le point P devient alors le centre de l'hyperbole. Enfin, il faut considérer que notre Soleil doit se trouver presque sur l'asymptote, pour que

les comètes puissent venir si près de la Terre. [1]) En conséquence, la distance angulaire du point d'intersection au point focal est à peu près égale à l'angle sous lequel nous voyons, du Soleil, la perpendiculaire menée du foyer sur l'asymptote, perpendiculaire dont la valeur est $q\sqrt{\frac{e+1}{e-1}}$, si q représente la distance périhélie, e l'excentricité numérique.

Pour fixer les idées, nous supposerons que l'hyperbole se rapproche de la parabole par sa forme, ce qui constitue un cas très désavantageux. Nous ferons $e = 1{,}001$, $q = 10$ rayons de l'orbite terrestre, la parallaxe de l'étoile focale $= 1''$. La perpendiculaire a alors une valeur de 447 unités, correspondant à 7°,5 de distance angulaire.

5. Nous pourrions être portés, par l'argumentation ci dessus, à chercher l'étoile focale au voisinage du point d'intersection; mais il ne faut pas oublier qu'il y a une circonstance qui peut avoir modifié considérablement la position de ce point. Cette circonstance, c'est le mouvement de notre Soleil.

Dans le paragraphe précédent, le point P, appartenant à un système cométaire, a été identifié avec le centre de l'orbite hyperbolique, proposition qui, en général, cesse d'être vraie lorsque le Soleil se meut. D'après les principes de la mécanique, nous devons attribuer au système cométaire, qui commence à subir l'attraction solaire, un mouvement égal à celui du Soleil, mais de direction opposée. Le plan de l'orbite change alors sa situation dans l'espace, et le point P ne se trouve plus dans ce plan.

Quant à la proposition concernant le point d'intersection commun des orbites, elle reste vraie. Le point P est remplacé par quelque autre point P', mais celui-ci jouit également de la propriété d'être commun à tous les membres du système.

6. Nous ne savons rien avec certitude de la vitesse du mou-

---

[1]) Le cas de nos comètes est en accord avec ces considérations, par la faible distance angulaire entre le point d'intersection et la position moyenne des aphélies. Pour l'un on a $\lambda = 316° 36'$, $\beta = -76° 57'$, pour l'autre $\lambda = 310°,1$. $\beta = -74°,5$. La distance est par suite $2° 55'$.

vement solaire. Il est possible que cette vitesse ait été insignifiante en comparaison de la vitesse de notre système cométaire. En ce cas, il y aurait une grande probabilité que l'étoile, d'où ce système nous est venu, se trouve sur la sphère à peu de distance du point

$$\begin{matrix} \lambda = 316^\circ 35' 55'' & \beta = -76^\circ 56' 43'' \\ \text{ou } \alpha = 56^\circ 13' 43'' = 3^h 44^m 54^s & \delta = -72^\circ 49' 45'' \end{matrix} \Big\} \text{Eq. moy. de } 1864{,}0$$

et nous pourrions nous demander si ce n'aurait pas été γ *Hydri*, ou quelque étoile plus petite située dans son voisinage.

Nous sommes en outre conduits à ajouter, au sujet de la nature des orbites de nos comètes, l'intéressante remarque que voici:

Dans la note jointe au § 4, nous avons trouvé 2°55′ pour la distance du point d'intersection au point aphélie moyen. Le premier de ces deux points est situé entre l'aphélie et le nœud ascendant. Cela prouve que l'orbite moyenne de nos comètes autour du Soleil est une hyperbole, dont l'excentricité ne saurait jamais être moindre que 1,0013. Une construction graphique m'a montré que ce caractère hyperbolique est commun à chacune des trois orbites, mais qu'il est le plus accusé dans l'orbite de la comète 1860 III, moins prononcé dans celle de 1863 I, et peut-être presque imperceptible dans celle de 1863 VI.

7. Mais, d'un autre côté, il est possible aussi que le mouvement du Soleil soit du même ordre de vitesse que celui du système cométaire. S'il en était ainsi, le point d'intersection n'aurait plus la signification qui lui a été donnée au § 4, et il pourrait être situé sur la sphère à une distance de plusieurs degrés de l'étoile focale.

Examinons ce point de plus près. D'abord, nous devons remarquer que le cas de nos comètes est un cas particulier, où le mouvement du Soleil a lieu presque dans le plan moyen des orbites. La direction de ce mouvement est, suivant M. Mädler:

$$\alpha = 261^\circ\ 39' \qquad \delta = +39^\circ\ 54' \qquad \text{Eq. moy. de } 1800{,}0$$

$$\text{ou} \begin{cases} \alpha = 262\ 10 & \delta = +39\ 51 \\ \lambda = 256\ 42 & \beta = +62\ 57 \end{cases} \Big\} \text{Eq. moy. de } 1864{,}0$$

et le plan moyen des orbites est donné par

$$\Omega = 102^\circ \qquad i = 83^\circ, \text{ Mouvement direct.}$$

Le mouvement du Soleil fait, par conséquent, un angle de 4°45′ avec ce plan. Le mouvement que nous avons à ajouter au mouvement asymptotique de nos comètes est donc situé presque exactement dans le plan de l'orbite moyenne. Le point d'intersection véritable est le point P , mais, pour aller de ce point à P, nous n'avons qu'à prendre le grand cercle qui est tracé sur la sphère par l'orbite moyenne, et à le suivre dans la direction du mouvement direct. La valeur minimum de l'excentricité serait alors plus grande que nous ne l'avions trouvée dans le paragraphe précédent.

Mais, quelle sera la distance angulaire des points P et P′? Nous pouvons essayer de lui assigner une limite supérieure. Pour la comète 1860 III, M. Hall a trouvé $e = 1{,}000656$. Admettant que cette grandeur soit trop faible, nous prendrons pour sa limite une valeur dix fois plus grande, savoir, 1,0066. Dans cette hypothèse, à la distance de 900 rayons de l'orbite terrestre, la comète se trouvait, par rapport au Soleil, dans une direction donnée par $\theta = -173°\ 7'$.

En désignant l'aphélie de cette comète par A, nous aurons A P = 6°53′, et comme nous connaissons déjà la valeur A P′ = 5°5′, il reste 1°48° pour la limite de P P′.

Dans l'hypothèse en question, nous pouvons même calculer une limite supérieure pour la vitesse du Soleil. A la distance indiquée de son foyer, la comète a son mouvement dirigé à peu près vers le Soleil, et faisant par conséquent un angle de 137° avec la direction du mouvement de cet astre.

Appelons V la vitesse de la comète, v celle du Soleil, nous avons:

$$v : V = \sin 1°48' : \sin 137°,$$

$$\text{ou} \qquad v = 0{,}461\ V.$$

V ayant une valeur de 0,002707 par jour, ou de 0,989 par an, le mouvement propre annuel du Soleil a pour limite 0,46 du rayon de l'orbite terrestre.

Je reconnais que ce résultat n'est qu'un simple exemple de calcul, mais il montre clairement les conséquences qui peuvent être déduites de ce nouvel ordre d'idées.

8. Comment une étoile arrive-t-elle à nous envoyer un système de comètes? Il m'est impossible de concevoir que l'étoile pourrait avoir rassemblé, et uni en un système, des corps primitivement isolés. Au contraire, on a vu qu'un pareil système est exposé à être rompu et à avoir ses membres dispersés par l'attraction du Soleil, et, sans nul doute, l'étoile précédente aurait agi sur lui de la même manière, s'il avait existé avant ce moment. Nous devons donc conclure qu'il a pris naissance après le passage au dernier périhélie, ou, pour mieux dire, au dernier périastérie. Cela revient à dire qu'une comète antérieure a été divisée en parties, qui ont voyagé de concert, sur des routes différentes mais voisines. Et en effet, il me paraît impossible qu'une comète, après avoir pris un si immense volume dans la portion périastérienne de son orbite, puisse de nouveau rallier, en se refroidissant, les particules éparpillées dans l'espace. Les masses sont trop petites, les vitesses trop grandes. Rappelons-nous le phénomène de la comète de Biela.

En résumé, dans le fait même de l'existence d'un système cométaire, je vois la preuve que ce système nous arrive après avoir tourné autour d'un centre d'attraction qui était à une température très élevée.

9. Peut-être aurons-nous un jour l'occasion de vérifier l'exactitude de l'argumentation du paragraphe précédent. Les queues des comètes étant opposées à l'étoile focale dans le plan de l'orbite, il faut nécessairement que les fragments d'une pareille queue continuent à indiquer le plan de cette orbite.

En conséquence, si nous calculons avec tout le soin possible, à l'aide de l'ensemble de toutes les bonnes observations, les orbites que nos comètes décrivent autour du Soleil, et que nous les corrigions soigneusement de l'effet des perturbations planétaires, nous obtiendrons la vitesse et la position que possédait chacune de ces comètes avant d'avoir éprouvé aucune attraction perceptible de la part du Soleil. Le plan qui passera alors par ces trois positions indiquera la situation de l'orbite antérieure, et il devra contenir l'étoile focale. Telle est la condition sur laquelle

nous pourrons fonder un contrôle, aussitôt que l'étoile et sa parallaxe seront connues.

Pour ce qui regarde les vitesses de ces fragments, elles doivent aussi, en général, être comprises dans ce même plan, si le Soleil reste en repos; mais elles doivent être inclinées par rapport à lui, si le Soleil se meut. Dans ce dernier cas, toutefois, il faut que ces inclinaisons soient à peu près égales pour chacun des fragments, ce qui fournit la base d'une nouvelle vérification.

D'un autre côté, la connaissance de ces inclinaisons pourrait nous conduire à des évaluations concernant la vitesse du mouvement propre du Soleil. Nous connaîtrions alors, en effet, la valeur de la résultante de ce mouvement, pris dans une direction opposée, et du mouvement asymptotique de notre système cométaire; de plus, les angles que cette résultante fait avec chacune de ces composantes. Cela nous donnerait la valeur de ces composantes, toujours en supposant que la direction assignée à l'une d'elles par M. Mädler soit exacte.

10. Le paragraphe précédent a déjà indiqué quelles recherches il serait utile de faire par rapport aux comètes de 1860 et 1863. J'ajouterai encore quelques considérations que je soumets au jugement des astronomes:

1°. Chaque comète peut être un membre d'un système cométaire, ce qui double l'intérêt attaché à sa connaissance. Il est donc à désirer que pas un seul de ces astres, parmi ceux que leur mouvement rend susceptibles d'être découverts, n'échappe à l'observation.

Un redoublement de vigilance, une surveillance systématique du ciel, produira, sans aucun doute, d'intéressants résultats. L'hémisphère austral, spécialement, a besoin d'organiser une sorte de police cométaire: trois observatoires, — par exemple, un en Australie, un au Cap de Bonne-Espérance et un dans l'Amérique du Sud, — devraient entreprendre de surveiller attentivement les parties du ciel invisibles à nos observatoires du nord, et s'engager franchement dans l'observation des comètes qui pourraient être découvertes dans ces parties. Les frais seraient insignifiants: un bon in-

strument, un observateur de second ordre, et peut-être quelques récompenses, pour encourager et pousser au succès. Ce dernier point me paraîtrait nécessaire, parce que ces trois observatoires auraient à contrebalancer dans leurs découvertes l'hémisphère boréal tout entier, avec ses puissants instruments, ses nombreux observateurs et la foule de ses amateurs zélés.

J'ai encore d'autres raisons pour souhaiter que les découvertes de comètes soient à l'avenir aussi complètes que possible. Je me propose de les exposer dans un Mémoire suivant.

2°. Tout ce que nous savons des corps célestes, nous le savons grâce aux propriétés de la lumière. Une nouvelle propriété de cet agent a été récemment découverte et appliquée à l'Astronomie. L'analyse spectrale est déjà devenue, dans les mains de MM. Kirchhoff, Donati, Secchi et Huggins, une source de notions inattendues. En particulier, les travaux de M. Huggins, sur les nébuleuses et les amas d'étoiles, me paraissent offrir un haut degré d'intérêt.

Il ne faudra pas négliger d'appliquer ce nouveau moyen d'investigation aux comètes qui pourront se montrer à nos yeux. M. Donati a déjà donné le spectre de la comète 1864 II, spectre composé de trois bandes lumineuses, et qui, indubitablement, rend témoignage de la composition chimique de l'astre. Je suis porté à croire que le jour viendra où les spectres cométaires, recueillis par les astronomes, permettront d'élucider les questions qui peuvent se présenter concernant la composition et l'origine, commune ou différente, des comètes.

3°. L'étude des systèmes cométaires mérite d'être poursuivie. J'ai l'intention de m'y livrer, et d'étendre mes recherches aux comètes qui ont apparu avant l'année 1844.

UTRECHT, 6 Mai 1865.

SUR LES COMÈTES DE 1677 ET 1683; 1860 III, 1863 I ET 1863 VI,

PAR

M. HOEK.

---

1. Dans le Mémoire précédent, j'ai essayé de prouver que, avant de suivre leurs orbites sous l'influence de l'attraction du Soleil, les comètes 1860 III, 1863 I et 1863 VI formaient un système, c'est-à-dire, qu'à de faibles distances l'une de l'autre, elles avaient des mouvements initiaux de même direction et de même vitesse.

Cette direction est indiquée approximativement par la ligne droite qui joint le Soleil à γ *Hydri.*

A la fin du même Mémoire, j'ai promis d'étendre mes recherches aux comètes qui ont apparu avant 1844. Le tableau suivant contient tous les cas, depuis 1556, dans lesquels la question relative à l'existence d'un système cométaire peut être posée, à raison de l'apparition successive de comètes dont les aphélies sont rapprochés l'un de l'autre sur la sphère. Dans ces investigations, j'ai adopté pour limite de temps l'intervalle de dix années, pour limite de distance l'angle de 10°. Je conviens qu'il y a quelque chose d'arbitraire dans ces limites, mais j'ai préféré, en commençant, ne pas les étendre trop. En outre, j'avertis mes lecteurs qu'ils rencontreront peut-être dans ce tableau quelques combinaisons où la distance surpasse un peu 10°, parce que je me suis borné à mesurer ces distances sur le globe, pour économiser le temps qu'auraient exigé les calculs.

J'ai donc trouvé :

Comètes.	Direction du mouvem.	Aphélie. Long.	Aphélie. Lat.	Remarques.
		°	°	
1672	Dir.	279,4	— 69,4	Cas analogue à celui des comètes de 1845 et 1846. Deux mouvements rétrogrades, avec un direct. Probablement la comète de 1672 est-elle étrangère à un système formé par les deux autres.
1677	Rétr.	286,4	— 75,7	
1683	Rétr.	290,8	— 83,0	
1689	Rétr.	90,1	+ 0,6	L'orbite de la comète de 1689 est plus ou moins incertaine. J'ai adopté les éléments de Vogel.
1698	Rétr.	90,8	+ 0,6	
1785 II.	Rétr.	67,8	— 52,9	
1790 III.	Rétr.	72,5	— 50,7	
1813 II.	Rétr.	38,6	+ 24,7	
1822 III.	Rétr.	46,2	+ 31,3	
1818 I.	Dir.	273,8	+ 8,4	L'orbite de la comète 1818 I est plus ou moins incertaine.
1818 III.	Rétr.	275,4	+ 10,5	
1830 I.	Dir.	31,8	— 2,1	
1835 I.	Rétr.	28,0	+ 4,6	
1842 II.	Rétr.	181,2	+ 56,6	
1851 IV.	Dir.	193,1	+ 61.2	
1844 II.	Rétr.	9,8	+ 22,9	
1845 II.	Dir.	1,9	+ 21,0	
1845 I.	Dir.	280,5	— 41,6	Au § 3 de mon précédent Mémoire, j'ai déjà indiqué que ces comètes ne répondent que par couples à la limite fixée, et qu'elles ne satisfont pas non plus à la seconde condition, celle d'avoir pour leurs orbites un seul point d'intersection. Probablement 1846 V est-elle étrangère à un système qui peut avoir contenu les deux autres corps.
1846 V.	Rétr.	275,3	— 55,4	
1846 VIII.	Dir.	281,0	— 49,5	
1846 VII.	Rétr.	340,7	— 28,9	
1847 II.	Rétr.	347,4	— 31,7	
1854 II.	Rétr.	347,7	— 76,2	
1858 IV.	Rétr.	12,9	— 76,7	

Comètes.	Direction du mouvem.	Aphélie. Long.	Lat.	Remarques.
		°	°	
1854 V.	Dir.	345,7	+ 13,5	
1861 III.	Rétr.	347,3	+ 18,2	
1855 I.	Rétr.	35,0	+ 28,1	
1861 I.	Dir.	36,6	+ 32,9	
1857 III.	Rétr.	57,7	— 38,0	
1857 V.	Rétr.	53,7	— 42,9	
1857 VI.	Rétr.	222,9	— 37,7	
1860 II.	Dir.	219,2	— 29,4	
1860 III.	Dir.	303,1	— 73,2	Système dont la discussion a été donnée dans le Mémoire précédent.
1863 I.	Dir.	313,2	— 73,9	
1863 VI.	Dir.	313,9	— 76,4	
1862 II.	Rétr.	119,6	— 3,6	Combinaison qui m'avait échappé dans le Mémoire précédent.
1864 II.	Rétr.	124,2	— 0,9	

La récolte, on le voit, n'est rien moins que riche. Aux dix cas appartenant aux années 1844—65, les 288 années antérieures n'en ont ajouté que sept nouveaux, dont deux, en outre, dépendent d'orbites moins bien connues. Ce résultat aurait pu être prévu. La période 1556—1764 comprend dans mes calculs seulement 46 comètes, celle de 1764—1840 seulement 72 comètes; tandis que ce même nombre 72 marque les apparitions des années 1840—65. Le nombre des comètes bien observées est donc annuellement de 0,22 dans la première période, de 0,95 dans la seconde, et de 2,9 dans la troisième.

C'était une exception lorsque, avant 1700, on découvrait une comète dont la distance aphélie au Soleil dépassait un peu l'unité, tandis que dans la période 1840—65 le nombre des distances aphélies supérieures à l'unité est un tiers du total.

D'un côté, par conséquent, les astronomes, à l'aide de leurs puissants instruments, ont étendu la sphère dans laquelle ces

corps sont découverts et observés; de l'autre côté, le ciel a été exploré pendant les vingt-cinq dernières années avec des soins inconnus jadis.

Le premier fruit de ces recherches a été la découverte de plusieurs comètes périodiques; un second résultat est la connaissance des systèmes cométaires.

2. Revenons à notre tableau des aphélies concordants.

Comment pouvons-nous distinguer entre les cas où il y a système et ceux où il y a coïncidence fortuite? Un cas seulement dans le tableau se prête à une investigation directe. C'est celui des comètes de 1672, 1677 et 1683. Examinons, en premier lieu, si leurs orbites ont un point d'intersection commun.

Le calcul, avec les éléments de Halley, donne:

Comètes.	Points d'intersection. Long.	Lat.	
	°	°	
1672 et 1677	275,5	— 72,8	Equinoxe moyen de 1677,0.
1672 et 1683	236,9	— 82,4	
1677 et 1683	315,9	— 78,8	

et ces comètes ne formaient donc pas système, ce que nous avions déjà présumé d'après la divergence de leurs mouvements.

Mais que faut-il penser de celles de 1677 et 1683, qui ont toutes les deux un mouvement rétrograde?

Nous pouvons invoquer ici un nouveau principe. Dans mon précédent Mémoire, j'ai indiqué que nous avions ordinairement à chercher l'étoile focale, par laquelle le système nous a été envoyé, dans le voisinage du point d'intersection commun aux orbites de tous les membres de ce système. Par conséquent, lorsque nous présumons que deux comètes ont formé un système avant de s'approcher du Soleil, nous devons calculer la position du point d'intersection de leurs orbites; et si ce point coïncide avec quelque autre point déjà connu comme centre d'émanations cométaires, nous pouvons presque tenir pour certain que ces comètes formaient un système, dont l'origine se trouve dans la direction du point d'intersection.

C'est ce qui a lieu dans le cas dont nous nous occupons. Rapportons le point d'intersection des comètes 1677 et 1683 à l'équinoxe moyen de 1864,0, et comparons-le avec ceux qui appartiennent au système cométaire de 1860 et 1863. Nous obtenons:

Comètes.	Points d'intersection. Long.	Lat.	
1677 et 1683	318°,5	— 78°,8	Equinoxe moyen de 1864,0
1860 III. et 1863 I.	316,7	— 76,5	
1860 III. et 1863 VI.	312,3	— 75,7	
1863 I. et 1863 VI.	320,8	— 78,7	

Après cette nouvelle coïncidence, je n'hésite pas à exprimer comme mon opinion, qu'au voisinage du point

$$\lambda = 319° \qquad \beta = -78°,5$$

il doit y avoir quelque étoile, qui a envoyé dans la direction de notre Soleil — d'abord les comètes de 1677 et 1683, ensuite celles de 1860 et 1863.

3. Pour justifier cette opinion, faisons notre calcul du degré de probabilité. Si la coïncidence de deux points d'intersection, dans la limite de 2°, est regardée comme l'effet du hasard, sa probabilité est 0,0003. *A priori*, nous pourrions donc nous attendre à la rencontrer une fois sur 3333 cas; or elle se présente une fois sur 20 cas.

En outre, ce phénomène d'une probabilité si faible se trouve uni à un autre, que nous avions tout aussi peu de chances mathématiques de rencontrer dans le nombre borné des cas réellement considérés. Je veux parler de la coïncidence, dans un étroit cercle de 3° de rayon, des aphélies de trois comètes qui ont apparu dans le cours de 3½ années. La probabilité de ce phénomène étant seulement de 0,00000049, nous pouvions nous attendre à le voir arriver une fois en 2050000 cas, et toutes nos comètes ne fournissent en somme que 6600 cas.

Je passe sous silence l'intersection mutuelle des trois mêmes orbites dans un cercle de 1°,5 de rayon, ainsi que la faible distance, de 2°,5, entre l'aphélie moyen et le point d'intersection moyen.

On est donc déjà suffisamment autorisé à croire que l'évènement composé, dont il est ici question, dépend d'une cause physique. L'explication que j'en ai donnée est-elle la véritable? C'est ce que décideront les recherches futures sur les comètes qui apparaîtront au ciel. Pour le moment, je ne vois pas comment on pourrait arriver à une autre conclusion, et je passe en conséquence à une nouvelle épreuve, à laquelle je soumettrai les comètes de 1677 et 1683.

4. Leurs distances au Soleil ont-elles été, à une époque antérieure, à peu près égales?

La formule

$$t = C\,(r + 2\,q)\sqrt{r-q}$$

avec sa différentielle

$$d\,r = \frac{2}{3\,C}\sqrt{\frac{r-q}{r}}\,d\,t,$$

qui suppose un mouvement parabolique, et dans laquelle

log C = 8,875232 — 10 donne le temps en années,
log C = 1,437812 „ „ „ „ jours,

me fournit les valeurs suivantes pour les distances exprimées en rayons de l'orbite terrestre:

Date grégorienne.	Distance au Soleil. Comète 1677.	Comète 1683.
573,86	600	601,97
837,78	500	502,18
1076,54	400	402,43
1286,93	300	302,89
1464,68	200	203,59
1602,00	100	105,14

De ce côté, il n'y a donc aucune objection [1]).

[1]) Le dernier tableau donne une idée de la manière dont les corps de ce système ont été séparés sous l'influence du Soleil. Peut-être que quelques-uns de mes lecteurs ne seront pas fâchés d'avoir sous les yeux un tableau analogue pour les systèmes de 1860 et 1863. Le voici:

5. Plusieurs questions peuvent être soulevées à la suite des faits que je viens d'établir.

En premier lieu, il y a le point

$$\lambda = 319^\circ \qquad \beta = -78^\circ{,}5,$$

dont les coordonnées sphériques rapportées à l'équateur sont

$$\alpha = 4^h\, 3^m{,}5 \qquad \delta = -72^\circ{,}0,$$

et qui a été appelé P dans mon précédent Mémoire.

Nous pouvons nous demander s'il y a quelque intérêt à chercher dans cette direction une étoile à parallaxe bien définie. Quand à moi, je pense qu'une pareille étoile sera trouvée à peu de degrés de distance du point P′, parce qu'en général on peut admettre que les étoiles d'où les comètes arrivent au Soleil sont les plus rapprochées de nous. Il ne serait même pas nécessaire de procéder à la recherche de cette étoile P tout autour du point P′, car il a déjà été démontré au § 7 de mon précédent Mémoire que, pour aller du point P au point P, nous devons suivre sur la sphère l'orbite moyenne des comètes de 1860 et 1863, et la suivre dans

---

Date grégorienne.	Comète 1860 III.	Distances au Soleil. Comète 1863 I.	Comète 1863 VI.
756,97	600	600,42	600,25
1020,87	500	500,56	500,36
1259,57	400	400,67	400,55
1470,01	300	300,86	300,80
1647,78	200	201,15	201,20
1785,10	100	101,83	102,11
1833,70	50	52,76	53,35
1853,60	20	24,43	25,52
1857,98	10	15,92	17,36

Au sujet de ces deux tableaux, je dois remarquer que les distances, calculées dans la supposition d'orbites paraboliques, sont seulement approchées. Pour obtenir des nombres plus exacts, il serait nécessaire de faire des recherches concernant l'excentricité de chacune de ces orbites. Relativement à ce point, comparez le paragraphe 10.

la direction du mouvement direct [1]). En d'autres termes, et d'une manière plus générale, si nous appelons M le point d'où s'éloigne notre système planétaire, P′ P M est un grand cercle de la sphère, et P est situé entre P′ et M.

Si le point P était découvert, nous serions à même de calculer la vitesse du mouvement propre de notre Soleil, de laquelle seule dépend la distance P P′.

Pour éclaircir ceci, supposons que P P′ ait été trouvé égal à 5°, et rappelons-nous que le mouvement propre du Soleil, pris en direction opposée, marque sur la sphère le point

$$\lambda = 76^\circ 42' \quad \beta = -62^\circ 57' \; \ldots \text{ Equinoxe moyen de } 1864{,}0,$$

lequel est distant de P′ de 33° 50′, ou, en nombres ronds, de 34°. Maintenant, si nous appelons V la vitesse de la comète au moment où elle entre dans la sphère d'attraction du Soleil, v la vitesse du système planétaire, nous aurons:

$$v : V = \sin 5^\circ : \sin 29^\circ,$$

ou

$$v = 0{,}180\, V;$$

et V elle-même étant de 0,367 par an, pour une excentricité = 1,001 de l'orbite de la comète 1860 III, le résultat est

$$v = 0{,}066 \text{ du rayon de l'orbite terrestre, par an.}$$

Je confesse que ce raisonnement n'est qu'un simple exemple de calcul, basé sur des suppositions arbitraires, mais il est propre à montrer les conséquences qui peuvent être dérivées de la connaissance des nouveaux faits.

6. Nous pouvons ensuite poser la question de savoir si les cinq comètes qui nous ont été envoyées par cette étoile l'ont quittée

---

[1]) Je dois prier mes lecteurs de considérer la portion suivante de ce paragraphe comme un erratum à la dernière partie du § 7 de mon précédent Mémoire, c'est-à-dire, à tout ce qui, dans ce § 7, suit les mêmes mots „*dans la direction du mouvement direct.*" Aussitôt que j'eus découvert l'erreur contenue dans cette partie, j'écrivis à l'*Astronomical Society*, mais il paraît que ma lettre ne parvint à la Société que lorsque mon Mémoire était déjà imprimé.

simultanément, ou si nous devons plutôt les considérer comme dépêchées à des époques différentes.

Il paraît difficile de résoudre cette question d'une manière satisfaisante, mais nous sommes en mesure de faire des recherches sur la possibilité des circonstances supposées par chacune de ces deux hypothèses.

Pour mettre la première à l'épreuve, admettons:

1. Que la parallaxe de l'étoile est $1''$, ou sa distance de 206265 unités.
2. Que son attraction devient imperceptible à une distance de 6265 unités, de sorte qu'il restait encore aux comètes 200000 unités à parcourir après qu'elles eurent abandonné l'étoile.
3. Que les comètes de 1860 et 1863 l'ont abandonnée avec des vitesses qui étaient exactement égales, et d'une valeur telle que l'orbite de la comète de 1860 obtient une excentricité de 1,001.

Les équations du mouvement hyperbolique (*Theoria Motus Corporum Cœlestium*, § 21 et 22),

$$u = \frac{\cos \frac{1}{2}(v - \psi)}{\cos \frac{1}{2}(v + \psi)} = \frac{2r}{p} \, \frac{\cos^2 \frac{1}{2}(v - \psi)}{\cos \psi},$$

$$\tfrac{1}{2} \lambda e \left(u - \frac{1}{u}\right) - \log u = \frac{\lambda k t}{b^{\frac{3}{2}}}$$

donnent, pour le cas de r très grand, la formule approchée

$$u = \frac{2r}{p} \, \frac{\sin^2 \psi}{\cos \psi} = \frac{2r}{be}$$

$$\tfrac{1}{2} \lambda e u - \log u = \frac{\lambda k t}{b^{\frac{3}{2}}}$$

ou, dans notre exemple,

$$\log u = 3{,}134852 \qquad t = 539061 \text{ ans.}$$ [1])

---

[1]) Ce résultat a une très grande influence sur le raisonnement que renferme le § 5. Dans un espace de temps comparable à un pareil nombre d'années, l'étoile à parallaxe bien définie, dont il a été question au § 5, peut avoir eu sur la sphère un mouvement propre très considérable, et s'être éloignée beaucoup du point qu'elle occupait au moment où les comètes la quittèrent. Néanmoins, et pour les raisons mentionnées dans la note attachée à ce paragraphe, j'ai cru devoir laisser celui-ce tel qu'il avait été écrit en juillet.

$$\text{vitesse moyenne} = \frac{200000}{539061} = 0{,}3710 \text{ par an.}$$

Pour contrôler ce résultat, calculons aussi la vitesse à une distance infinie, donnée par la formule,

$$v_0 = k\sqrt{\frac{e-1}{q}};$$

nous trouvons, dans notre cas, 0,001006 par jour, ou 0,3672 par an.

Pour que la comète puisse arriver 200 ans plus tôt, il suffit que cette vitesse soit augmentée de sa 2700ième partie, c'est-à-dire, de 0,000000372 d'unité par jour, ou de 0,66 de mètre par seconde.

En ce qui touche la divergence des fragments qui arrivèrent successivement en 1677 et en 1860, supposons que le Soleil se meuve annuellement de deux unités à travers l'espace, estimation qui est probablement beaucoup trop forte. Ce corps aurait alors traversé, pendant ces 180 ans, une distance de 360, qui, vue de l'étoile, représente un arc de $6' \sin 34°$, ou $3',6$.

Par conséquent, si les comètes de 1677 et 1860 étaient toutes deux des fragments du même corps, il aurait suffi qu'elles eussent quitté la sphère d'attraction de l'étoile à une distance de 11 unités l'une de l'autre, dans des directions divergeant de $3\frac{1}{2}$ minutes d'angle, et avec des vitesses différant entre elles de $\frac{2}{3}$ de mètre par seconde.

Dans l'état présent de nos connaissances, il n'y a donc rien d'absurde à admettre la première hypothèse.

Quant à la seconde, d'après laquelle nous aurions reçu des corps dépêchés par une même étoile à des époques différentes, c'est une question de probabilités.

Avec une vitesse telle que paraît avoir été environ celle des comètes de 1860 et 1863, la distance périhélie $q = 1{,}3$ correspond à une direction du mouvement initial en vertu de laquelle le corps passerait près du Soleil à la distance de 27 unités. Lorsque ce dernier nombre est doublé, la distance périhélie devient 5,2, c'est-à-dire que la comète cesse d'être visible aux habitants de la Terre.

Nous pouvons donc comparer le phénomène au tir sur une cible de 120 unités de diamètre, à une distance de 206265, et dans des circonstances telles que le tireur ignore dans quelle direction la cible est placée. Le diamètre de celle-ci correspondant à 2′, il y a seulement une probabilité de $\frac{1}{4} \sin^2 60''$ qu'un second coup viendra frapper la cible déjà atteinte par le premier. Tirant au hasard, nous devons décharger 47,300,000 coups pour avoir la probabilité mathématique de produire 1 fois le phénomène.

Pour revenir à notre étoile, même si nous savions qu'elle lance annuellement 131300 comètes dans l'espace, même alors nous pourrions, *à priori*, parier à enjeu égal que le phénomène de toucher deux fois la cible solaire ne se réalisera pas, comme simple effet du hasard, dans l'espace de 180 ans.

D'un autre côté, s'il existait une cause physique obligeant deux coups successifs à ne différer que de $3\frac{1}{2}'$ en direction, nous pourrions, supposé que la cible ait déjà été touchée, parier 1 contre 10 qu'elle sera atteinte de nouveau par un second coup, et même 1 contre 1 du moment qu'il serait connu que la divergence des coups, et par conséquent le mouvement de la cible, sont réduits à $\frac{1}{3}$ de la valeur ci-dessus.

L'admission de la seconde hypothèse implique donc la supposition d'un très grand nombre de comètes lancées annuellement dans l'espace par l'étoile. Y a-t-il quelque chose d'inacceptable dans le nombre 130,000? Si autour du Soleil, comme centre commun, nous supposons deux sphères ayant pour rayons l'unité et la distance de *Neptune*, il y aura, dans la plus vaste des deux, un nombre de périhélies 27000 plus grand que dans la plus petite, en admettant que les périhélies soient distribués uniformément dans l'espace. Cela étant, la petite sphère contient en moyenne 2 périhélies par an, ce qui donne 54000 comètes passant annuellement par leur périhélie dans les limites d'une sphère assez grande pour contenir notre système planétaire. Ajoutons, premièrement, que ce nombre est doublé dès que nous admettons que la moitié des comètes passent inaperçues; secondement, qu'il paraît difficile de rejeter cette répartition uniforme des périhélies, qui rend leur nombre propor-

tionnel au volume de la sphère, c'est-à-dire, au cube de son rayon.

En résumé, ni l'une ni l'autre des deux hypothèses ne nous conduit à admettre quelque chose d'absurde. Il semble donc prématuré, pour le moment, de donner la préférence à l'une d'elles.

7. Considérons les deux hypothèses à un autre point de vue. Si les cinq comètes sont des fragments d'un même corps, elles ont dû se mouvoir vers le Soleil dans des directions ne divergeant pas de plus de $3\frac{1}{2}'$, et que nous pouvons par conséquent regarder comme parallèles entre elles. Dans ce cas, les cinq orbites doivent avoir un point d'intersection unique.

Si au contraire elles ont été dépêchées à des époques différentes, le point d'intersection des comètes de 1677 et 1683 peut différer de celui qui appartient aux comètes de 1860 et 1863, et, dans ce cas, un écart de $\frac{1}{2}°$ ou même de 1° entre ces points n'aurait rien de surprenant, d'après le contenu du § 4 de mon précédent Mémoire.

Prenons les nombres du § 2. Nous avons donc pour les points d'intersection

des comètes de 1677 et 1683, long. = 318°,5, lat. = — 78°,8
„ „ 1863 I et 1863 VI, long. = 320°,8, lat. = — 78°,7

c'est-à-dire, deux points dont la distance mutuelle est d'environ $\frac{1}{2}°$. Il est difficile, pour le moment, de décider si nous devons les regarder comme des points distincts, ou bien attribuer simplement leur différence au défaut de certitude des anciennes orbites.

Une nouvelle détermination de celles-ci, basée sur une réduction nouvelle et très soignée des observations, avec le calcul exact des attractions planétaires, pourrait seule nous donner les moyens de trancher la question.

8. Il reste encore la comète 1860 III, dont l'orbite passe à une distance de plus de 1°,5 du point d'intersection moyen des quatre autres orbites. La supposition la plus simple est que cette comète a subi quelque perturbation. Effectivement, je trouve qu'avant son passage au périhélie elle s'était rapprochée de la planète *Mercure*, savoir, à la distance d'environ 0,04. Un calcul approximatif m'a montré, toutefois, que l'attraction de cette planète était insuffisante pour apporter une perturbation si notable à la position

du plan de l'orbite, dans le cours des trois ou quatre jours pendant lesquels les deux corps furent près l'un de l'autre.

Le phénomène demeure donc inexpliqué. A-t-il eu son origine au voisinage du Soleil, ou bien, longtemps avant cette époque, dans l'espace? Dans ce dernier cas, la comète 1860 III doit avoir eu, en entrant dans la sphère d'attraction du Soleil, un mouvement dont la direction était convergente par rapport aux mouvements parallèles des comètes de 1863. L'attraction mutuelle de ces trois corps ne pourrait-elle pas avoir exercé quelque influence de ce genre dans le cours de plusieurs siècles?

9. Il est facile de marquer la position relative de ces corps à l'époque où ils étaient à une grande distance du Soleil.

D'abord, nous avons pour l'inclinaison mutuelle de leurs orbites:

Inclinaison de l'orbite	1860 III.	sur l'orbite	1863 I. $= 32°29'$
„ „ „	1860 III.	„	1863 VI. $= 20\ 27$
„ „ „	1863 I.	„	1863 VI. $= 12\ \ 1.$

Ensuite, pour les perpendiculaires abaissées du Soleil sur les tangentes aux orbites (considérées comme des paraboles), nous avons la formule

$$l = \sqrt{rq},$$

qui donne

Date grégorienne.	Perpendiculaire. Comète 1860 III.	Comète 1863 I.	Comète 1863 VI.
756,97	23,26	21,85	28,08
1020,87	12,10	19,94	25,63

de sorte que nous obtenons:

Distances mutuelles.	Date. 756,97	1020,87.
Comètes 1860 III. et 1863 I.	12,81	11,71
Comètes 1860 III. et 1863 VI.	16,31	14,90
Comètes 1863 I. et 1863 VI.	8,10	7,32

Si nous préférons considérer les orbites comme des hyperboles, nous avons à calculer,

$$l = q\sqrt{\frac{1+e}{1-e}},$$

et nous devons alors admettre:

1. Que le mouvement initial est le même pour toutes, ou que $\frac{e-1}{q}$ est une quantité constante dans les trois orbites.

2. Que l'excentricité de l'orbite de 1860 III a une certaine valeur.

Supposons que cette quantité soit de nouveau 1,001, nous obtenons alors pour les perpendiculaires:

12,51 21,10 27,13,

et pour les distances mutuelles des comètes dans l'espace:

12,51 15,86 7,51,

nombres dont les rapports ne diffèrent pas beaucoup de ceux donnés ci-dessus, et qui pourraient fournir, si cela était encore nécessaire, une nouvelle preuve du fait que, avant d'approcher du Soleil, nos comètes étaient voisines l'une de l'autre dans l'espace, et s'y mouvaient suivant des directions parallèles, avec des vitesses égales.

Or il suit de ces nombres que, si les comètes avaient exercé dans l'espace quelque attraction mutuelle, nous devrions en chercher l'effet, en premier lieu, chez les comètes de 1863, qui ont toujours été les plus rapprochées l'une de l'autre.

Aucune attraction mutuelle, par conséquent, n'explique la déviation de l'orbite 1860 III. Nous pourrions avoir recours à la supposition d'une rencontre avec quelque corps inconnu, qui aurait influencé plus exclusivement cette comète; mais ce serait expliquer l'inconnu par l'inconnu, et c'est là une voie dans laquelle je n'aime pas à m'aventurer.

10. Il y a encore une autre circonstance digne d'être notée, parce qu'elle conduira peut-être à une distinction entre les deux hypothèses du paragraphe 6. Je veux parler de la distribution des aphélies autour des points d'intersection. Si nous suivons les orbites dans la direction des mouvements des comètes, nous rencontrons, sur celles de 1860 et de 1863, les aphélies avant d'atteindre les points d'intersection. Le contraire a lieu sur les orbites de 1677 et 1683.

Je ne doute pas qu'il n'y ait une intime connexion entre

l'excentricité de chaque orbite et la position de son aphélie par rapport à celle du point d'intersection. Ensuite, nous avons une relation bien connue entre l'excentricité et la vitesse du mouvement initial.

Mais, toute conclusion à cet égard paraît prématurée, jusqu'à ce qu'on ait fait un nouveau calcul des orbites, avec la détermination, pour chacune d'elles, tant du maximum que du minimum d'excentricité compatibles avec les observations.

11. Retournons, pour un moment, à la formule différentielle du paragraphe 4.

En négligeant la petite quantité q, ainsi que cela est permis en présence de grandes valeurs de r, nous obtenons,

$$d\,t = \frac{3\,C}{2} \sqrt{r}\, d\,r,$$

formule qui nous met en état d'établir le résultat suivant: Si l'on admet que, à une distance de 600 unités du Soleil, les différents membres d'un système cométaire aient pu s'écarter entre eux de 10 unités, par suite d'une légère différence dans leurs vitesses respectives, il est possible que trois comètes, antérieurement unies en un système, passent par leurs périhélies durant un espace de 55 années.

Il sera donc nécessaire de procéder à une nouvelle combinaison de tout l'ensemble de nos positions aphélies, en élargissant convenablement la limite de temps, qui a été prise trop resserrée au paragraphe 1.

Je me propose d'entreprendre cette recherche.

UTRECHT, 8 Juillet 1865.

SUR L'INTÉGRATION

DE

L'ÉQUATION DIFFÉRENTIELLE LINÉAIRE DU SECOND ORDRE,

PAR

J. DE JONG.

---

1. Dans un travail antérieur [1]) j'ai cherché à établir théoriquement, au moyen de l'équation intégrante, l'intégrale particulière de l'équation différentielle linéaire à coefficients constants. La même chose a été faite par M. D. Bierens de Haan pour l'équation différentielle linéaire à puissances successives de la variable indépendante [2]). Dans ces recherches, une importance toute spéciale a été reconnue aux relations que M. Mayr a indiquées entre l'intégrale particulière de l'équation différentielle linéaire et celle de l'équation intégrante qui s'en déduit. S'il était possible de découvrir des relations analogues pour d'autres catégories d'équations différentielles linéaires, un grand pas serait fait; à l'aide d'une pareille relation, une équation différentielle linéaire de l'ordre n pourrait, en effet, être réduite à une équation de l'ordre $n-1$. Malheureusement, il est tout aussi difficile de trouver des relations de ce genre entre y et φ que d'intégrer les équations différentielles elles-mêmes, comme on peut le voir, pour les deux cas les plus simples, dans les Mémoires rappelés ci-dessus. J'ai donc

---

[1]) *Arch. néerl.*, t. VII, p. 140.

[2]) *Verslagen en Mededeelingen der Koninkl. Akad. v. Wetensch.*, 2e Sér., t. VI, 1872.

essayé de suivre la voie opposée et, partant d'une relation déterminée entre y et φ, je me suis proposé de construire l'équation différentielle à laquelle convient cette relation, ce qui permet alors de déterminer en même temps une intégrale particulière de cette équation. Dans ce qui va suivre, je me bornerai à l'équation différentielle linéaire du second ordre. La méthode, il est vrai, s'applique aussi aux équations d'ordre supérieur, mais les difficultés analytiques s'accroissent alors dans une proportion considérable.

2. Considérons l'équation différentielle du second ordre réduite à zéro

$$P y + Q \frac{dy}{dx} + R \frac{d^2 y}{dx^2} = 0,$$

ou bien, après division par P, l'équation

$$y + X \frac{dy}{dx} + X_1 \frac{d^2 y}{dx^2} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

L'équation intégrante de (1) sera alors

$$\varphi\,(1 - d.\,X + d^2.\,X_1) - (X - 2\,d.\,X_1) \frac{d\varphi}{dx} + X_1 \frac{d^2 \varphi}{dx^2} = 0. \quad (2).$$ [1])

Prenons maintenant, comme relation la plus simple entre y et φ,

$$\varphi = y \text{ ou } = C y \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3),$$

donc $\frac{d\varphi}{dx} = C \frac{dy}{dx}$, $\frac{d^2 \varphi}{dx^2} = C \frac{d^2 y}{dx^2}$; portant ces valeurs et celle de φ dans l'éq. (2), on aura

$$y\,(1 - d.\,X + d^2.\,X_1) - (X - 2\,d.\,X_1) \frac{dy}{dx} + X_1 \frac{d^2 y}{dx^2} = 0. \quad (4).$$

En retranchant ensuite (1) de (4), on trouvera

$$y\,(- d.X + d^2.X_1) - 2\,(X - d.\,X_1) \frac{dy}{dx} = 0. \quad \ldots\ldots \quad (5).$$

---

[1]) Dans ce Mémoire, le signe $d.$, placé devant une lettre, a la même signification que la notation D ou D_x chez Cauchy; $d.\,P$ est donc équivalent à $\frac{dP}{dx}$, $d^2.Q$ à $\frac{d^2 Q}{dx^2}$.

Posons maintenant

$$X - d.\,X_1 = p \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (6),$$

(5) devient alors

$$-y\,d.\,p - 2p\frac{dy}{dx} = 0,$$

$$ly = -\tfrac{1}{2}lp + C \text{ et } y = \frac{C}{\sqrt{p}} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (7),$$

$$\frac{dy}{dx} = y - \frac{d.p}{2p} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (8)$$

et

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\tfrac{1}{2}y\left\{\frac{d^2.p}{p} - \tfrac{3}{2}\left(\frac{d.p}{p}\right)^2\right\} \; . \; . \; (9).$$

Substituant ces valeurs de $\frac{dy}{dx}$ et $\frac{d^2 y}{dx^2}$ dans (1), cette équation devient

$$y - X y\frac{d.p}{2p} - \tfrac{1}{2}X_1\,y\left\{\frac{d^2.p}{p} - \tfrac{3}{2}\left(\frac{d.p}{p}\right)^2\right\} = 0,$$

ou

$$2p^2 - X\,p\,d.p - X_1\,p\,d^2.p + \tfrac{3}{2}X_1\,(d.p)^2 = 0 \; . \; . \; . \; (10).$$

Pour que la relation $\varphi = y$ s'applique à (1), X et X_1 doivent donc satisfaire à l'équation (10), dans laquelle la fonction p est déterminé par (6). Lorsque cette condition est remplie,

$$y = \frac{C}{\sqrt{p}}$$

est en même temps une intégrale particulière de (1).

Il y a donc toute une classe d'équations différentielles linéaires du second ordre, à laquelle convient la relation $\varphi = y$. On peut, en effet, attribuer une forme quel conque à l'une des fonctions X ou X_1, puis déterminer l'autre au moyen de (10); on a alors p et une intégrale particulière de l'équation construite. Mais l'éq. (10) est une équation non linéaire du second ordre en p. Si l'on prenait pour X la valeur simple x, p deviendrait $x - d.X_1$, et en substituant ces valeurs dans (10) on obtiendrait une équation différentielle non linéaire en X_1 du troisième ordre. Les difficultés ne seraient guère moindres si l'on commençait par adopter une valeur

pour X_1. Mais nous pouvons adopter des valeurs pour la fonction p, et nous avons alors dans (10) et (6) deux relations entre X et X_1, lesquelles permettent de déterminer ces deux fonctions. Du reste, on voit déjà d'avance que le nombre des équations qui se laissent construire en suivant cette voie, est limité par la méthode elle-même.

Supposons $p = x^2$, l'éq. (10) devient alors, après quelques réductions,

$$x^2 - x\mathrm{X} + 2\,\mathrm{X}_1 = 0;$$

(6) donne

$$\mathrm{X} - d\,\mathrm{X}_1 = x^2,$$

et de ces équations résultent les valeurs

$$\mathrm{X}_1 = x^2\, l\,x - x^3,$$
$$\mathrm{X} = x + 2\,x\,l\,x - 2\,x^2,$$

et

$y = \frac{\mathrm{C}}{x}$ sera par conséquent une intégrale particulière de l'équation

$$y + x\,(1 + 2\,l\,x - 2\,x)\,\frac{d\,y}{d\,x} + x^2\,(l\,x - x)\,\frac{d^2\,y}{d\,x^2} = 0.$$

Si l'on avait pris pour p la valeur x, on trouverait que $y = \frac{\mathrm{C}}{\sqrt{x}}$ est une intégrale particulière des équations

$$y + 5\,x\frac{d\,y}{d\,x} + 2\,x^2\,\frac{d^2\,y}{d\,x^2} = 0$$

et $$y + 11\,x\frac{d\,y}{d\,x} + 6\,x^2\,\frac{d^2\,y}{d\,x^2} = 0,$$

résultat auquel nous pouvons aussi parvenir d'une autre manière, attendu que ces équations rentrent dans la seconde des deux catégories d'équations différentielles que j'ai citées au commencement de ce Mémoire.

3. Soit entre y et φ, dans l'équation

$$y + \mathrm{X}\,\frac{d\,y}{d\,x} + \mathrm{X}_1\,\frac{d^2\,y}{d\,x^2} = 0 \;\ldots\ldots\ldots\ (1)$$

et son équation intégrante

$$\varphi(1 - d.X + d^2.X_1) - \frac{d\varphi}{dx}(X - 2\,d.X_1) + X_1\frac{d^2\varphi}{dx^2} = 0 \quad . \; . \; (2)$$

la relation

$$y\varphi = C \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3),$$

de sorte que

$$\varphi = \frac{C}{y},\ \frac{d\varphi}{dx} = -C\frac{\frac{dy}{dx}}{y^2},\ \frac{d^2\varphi}{dx^2} = -C\frac{-2\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + y\frac{d^2y}{dx^2}}{y^3}.$$

Substituant ces valeurs dans (2), on trouve après quelques réductions

$$y^2(1-d.X+d^2.X_1)+y\frac{dy}{dx}(X-2d.X_1)+2X_1\left(\frac{dy}{dx}\right)^2-X_1y\frac{d^2y}{dx^2}=0.(4).$$

Éliminons maintenant $\frac{d^2y}{dx^2}$ entre (1) et (4), on a

$$y^2(2 - d.X + d^2.X_1) + 2y(X - d.X_1)\frac{dy}{dx} + 2X_1\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0\ .\ (5),$$

ou

$$(2 - d.X + d^2.X_1) + 2(X - d.X_1)\frac{\frac{dy}{dx}}{y} + 2X_1\left(\frac{\frac{dy}{dx}}{y}\right)^2 = 0\ .\ (6).$$

Posons ensuite

$$X - d.X_1 = p \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (7),$$

l'éq. (6) se transformera en

$$(2 - d.p) + 2p\frac{\frac{dy}{dx}}{y} + 2X_1\left(\frac{\frac{dy}{dx}}{y}\right)^2 = 0 \; . \; . \; . \; . \; . \; (8),$$

équation qui fournit

$$\frac{\frac{dy}{dx}}{y} = \frac{-p \pm \sqrt{\{p^2 - 2X_1(2 - d.p)\}}}{2X_1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (9)$$

et

$$y = e^{\int \frac{-p \pm \sqrt{\{p^2 - 2X_1(2 - d.p)\}}}{2X_1} dx} \quad \ldots\ldots (10).$$

Soit maintenant

$$N = \sqrt{\{p^2 - 2X_1(2 - d.p)\}} \quad \ldots\ldots\ldots (11),$$

par conséquent

$$d.N = \frac{p\,d.p + X_1\,d^2.p - (2 - d.p)\,d.X_1}{N},$$

on aura

$$y = e^{\int \frac{-p + N}{2X_1} dx} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12),$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-p \pm N}{2X_1} y \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13).$$

d'où l'on déduit

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = y \left\{ \frac{(-p \pm N)^2}{4X_1^2} + d.\left(\frac{-p \pm N}{2X_1}\right) \right\} =$$

$$= \frac{y}{2X_1^2 N} \left\{ N(pX - 2X_1) + N^2(p + d.X_1) \pm X_1(X_1 d^2.p + X d.p - 2d.X_1) \right\} (14)$$

Substituant ces valeurs dans (1), on verra que les coefficients, tant de N^2 que de N, se détruisent réciproquement, et après quelques réductions et en divisant par $\pm X$, on obtiendra:

$$X_1\,d^2.p + X\,d.p - 2\,d.X_1 = 0 \quad \ldots\ldots (15).$$

Les coefficients X et X_1 dans (1) doivent donc satisfaire à l'équation (15), lorsque la relation $y\varphi = C$ existe entre y et φ. L'équation (12) détermine alors en même temps une intégrale particulière de (1).

Si nous posons $X_1 = c$, (15) deviendra

$$c\,d^2.p + X\,d.p = 0$$

et (7)

$$p = X.$$

Il en résulte.

$$p = \mathrm{X} = \frac{2c}{x},$$

$$\mathrm{N} = \sqrt{\left\{\frac{4c^2}{x^2} - 2c\left(2 + \frac{2c}{x^2}\right)\right\}} = 2\sqrt{-c},$$

et

$$y = e^{\int \frac{-\frac{2c}{x} \pm 2\sqrt{-c}}{2c} dx} = \frac{1}{x} e^{\pm x\sqrt{-\frac{1}{c}}}$$

sera une intégrale particulière de l'équation

$$\frac{xy}{c} + 2\frac{dy}{dx} + x\frac{d^2y}{dx^2} = 0.$$

4. Soit dans les équations

$$y + \mathrm{X}\frac{dy}{dx} + \mathrm{X}_1\frac{d^2y}{dx^2} = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

et

$$\varphi(1 - d.\mathrm{X} + d^2.\mathrm{X}_1) - \frac{d\varphi}{dx}(\mathrm{X} - 2d.\mathrm{X}_1) + \mathrm{X}_1\frac{d^2\varphi}{dx^2} = 0 \ldots (2)$$

la relation

$$\varphi = y^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3),$$

on a alors

$$\frac{d\varphi}{dx} = 2y\frac{dy}{dx},\ \frac{d^2\varphi}{dx^2} = 2y\frac{d^2y}{dx^2} + 2\left(\frac{dy}{dx}\right)^2.$$

Par la substitution de ces valeurs dans (2), cette équation se transforme en

$$y^2(1 - d.\mathrm{X} + d^2.\mathrm{X}_1) - 2y\frac{dy}{dx}(\mathrm{X} - 2d.\mathrm{X}_1) + 2\mathrm{X}_1\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + 2\mathrm{X}_1 y\frac{d^2y}{dx^2} = 0. (4).$$

En retranchant de celle-ci le produit de (1) par $2y$, on obtient

$$y^2(-1 - d.\mathrm{X} + d^2.\mathrm{X}_1) - 4y\frac{dy}{dx}(\mathrm{X} - d.\mathrm{X}_1) + 2\mathrm{X}_1\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0.\ (5).$$

Posons maintenant

$$\mathrm{X} - d.\mathrm{X}_1 = p \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6),$$

(5) deviendra, après division par y^2,

$$2\,X_1\left(\frac{\frac{dy}{dx}}{y}\right)-4\,p\left(\frac{\frac{dy}{dx}}{y}\right)+(-1-d.p)=0\quad . \; . \; (7).$$

Il en suit

$$\frac{\frac{dy}{dx}}{y}=\frac{p\pm\sqrt{\{p^2+\frac{1}{2}X_1(1+d.p)\}}}{X_1},\; y=e^{\int\frac{p\pm\sqrt{\{p^2+\frac{1}{2}X_1(1+d.p)\}}}{X_1}dx}\quad (8).$$

Posons maintenant

$$N=\sqrt{\{p^2+\tfrac{1}{2}X_1\,(1+d.p)\}}\; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (9),$$

par conséquent

$$d.N=\frac{2\,p\,d.p+\frac{1}{2}X_1\,d^2.p+\frac{1}{2}d.X_1\,(1+d.p)}{2\,N},$$

on aura

$$y=e^{\int\frac{p\pm N}{X_1}dx}\; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (10),$$

$$\frac{dy}{dx}=\frac{p\pm N}{X_1}y\; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (11),$$

et

$$\frac{d^2y}{dx^2}=\left\{\left(\frac{p\pm N}{X_1}\right)^2+\frac{X_1\,(d.p\pm d.N)-(p\pm N)\,d.X_1}{X_1{}^2}\right\}y=$$

$$=\frac{y}{2X_1{}^2N}\left\{N\left[4p^2+X_1\,(1+d.p)+2\,X_1\,d.p-2\,pd.X_1\right]\pm\right.$$

$$\left.\pm 2N^2(2p-d.X_1)\pm X_1\left[\tfrac{1}{2}X_1\,d.^2p+2pd.p+\tfrac{1}{2}d.X_1(1+d.p)\right]\right\}.\quad (12).$$

Ces valeurs de y, $\frac{dy}{dx}$ et $\frac{d^2y}{dx^2}$ étant substituées dans (1), on a

$$N(3\,X_1+3\,X_1\,d.\,p+6p^2\pm 2\,N^2(2p-d.\,X_1+X)\pm X_1\left(\tfrac{1}{2}X_1\,d.^2p+\right.$$

$$\left.+\,2\,p\,d.\,p+\tfrac{1}{2}\,d.\,X_1\,(1+d.p)\right)=0\; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (13),$$

ou

$$3\,N^2\pm 3\,p\,N\pm X_1\,d.\,N=0.\; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (14).$$

Pour qu'on ait la relation

$$\varphi = y^2,$$

les fonctions X et X_1 doivent donc satisfaire aux équations

$$p = X - d.X_1,$$
$$N = \sqrt{\{p^2 + \tfrac{1}{2}X_1(1 + d.p)\}},$$

et

$$0 = 3N^2 \pm 3pN \pm X_1 d.N,$$

et alors

$$y = e^{\int \frac{p \pm N}{X_1} dx}$$

est une intégrale particulière de l'équation (1).

5. Lorsque entre y et φ, dans les équations

$$y + X\frac{dy}{dx} + X_1\frac{d^2y}{dx^2} = 0. \ldots \ldots \ldots (1)$$

et

$$\varphi(1 - d.X + d.^2X_1) - (X - 2d.X_1)\frac{d\varphi}{dx} + X_1\frac{d^2\varphi}{dx^2} = 0. \quad (2),$$

existe la relation

$$y\varphi = x. \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (3),$$

on a

$$\varphi = \frac{x}{y}, \quad \frac{d\varphi}{dx} = \frac{y - x\frac{dy}{dx}}{y^2},$$

et

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = \frac{-yx\frac{d^2y}{dx^2} - 2y\frac{dy}{dx} + 2x\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}{y^3}.$$

En portant ces valeurs dans (2) on obtiendra

$$y^2\left\{x(1 - d.X + d^2.X_1) - (X - 2d.X_1)\right\} + y\frac{dy}{dx}\left\{x(X - 2d.X_1) - 2X_1\right\} +$$
$$+ 2xX_1\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 - yxX_1\frac{d^2y}{dx^2} = 0. \ldots \ldots \ldots (4),$$

et en ajoutant à cette expression le produit de (1) par yx,

$$y^2\left\{x(2 - d.X + d^2.X_1) - (X - 2d.X_1)\right\} + 2y\frac{dy}{dx}\left\{x(X - d.X_1) - X_1\right\} +$$
$$+ 2xX_1\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0 \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (5).$$

Posons maintenant

$$p = x(X - d.X_1) - X_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6),$$

donc

$$d.p = x(d.X - d^2.X_1) + X - 2d.X_1,$$

le coefficient de y^2 dans l'équation (5) sera

$$2x - \{x(d.X - d^2.X_1) + X - 2d.X_1\} = 2x - d.p,$$

et (5) se transformera en

$$y^2(2x - d.p) + 2yp\frac{dy}{dx} + 2xX_1\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0 \ldots (7),$$

ou

$$\left(\frac{\frac{dy}{dx}}{y}\right)^2 + \frac{p}{xX_1}\frac{\frac{dy}{dx}}{y} + \frac{2x - d.p}{2xX_1} = 0.$$

On en déduit

$$\frac{\frac{dy}{dx}}{y} = \frac{-p \pm \sqrt{\{p^2 - 2xX_1(2x - d.p)\}}}{2xX_1},$$

$$y = e^{\int \frac{-p \pm \sqrt{\{p^2 - 2xX_1(2x - d.p)\}}}{2xX_1}dx} \quad \ldots (8).$$

Posant ensuite

$$\sqrt{\{p^2 - 2xX_1(2x - d.p)\}} = N \quad \ldots\ldots (9),$$

on a

$$d.N = \frac{pd.p - xX_1(2 - d^2.p) - (2x - d.p)(X_1 + xd.X_1)}{N} =$$

$$= \frac{xX_1d^2.p + xXd.p - 2x^2d,X_1 - 4xX_1}{N} \quad \ldots\ldots (10),$$

donc

$$y = e^{\int \frac{-p \pm N}{2xX_1}dx} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11),$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-p \pm N}{2xX_1}y \ldots\ldots\ldots\ldots (12),$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \left\{ \left(\frac{-p \pm N}{2xX_1} \right)^2 + \tfrac{1}{2} \frac{xX_1(-d.p \pm d.N) - (-p \pm N)(xd.X_1 + X_1)}{x^2 X_1^2} \right\} y =$$

$$= \left\{ \frac{p^2 - xX_1(2x - d.p) \mp pN}{2x^2 X_1^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{xX_1 \left(-d.p \pm \frac{xX_1 d^2.p + xXd.p - 2x^2 d.X_1 - 4xX_1}{N} \right) - (-p \pm N)(xd.X_1 + X_1)}{2x^2 X_1^2} \right\} y$$

$$= \frac{y}{2x^2 X_1^2 N} \left\{ N \left\{ p^2 - xX_1(2x - d.p) - xX_1 d.p + p(xd.X_1 + X_1) \right\} \mp \right.$$

$$\left. \mp N^2 \left\{ p + Xd.X_1 + X_1 \right\} \pm xX_1 \left\{ xX_1 d^2.p + xXd.p - 2x^2 d.X_1 - 4xX_1 \right\} \right\}$$

$$= \frac{y}{2x^2 X_1^2 N} \left\{ N(pxX - 2x^2 X_1) \pm xXN^2 \pm \right.$$

$$\left. \pm xX_1 \left\{ xX_1 d^2.p + xXd.p - 2x^2 d.X_1 - 4xX_1 \right\} \right\}. \quad (13).$$

Si ces valeurs de y, $\frac{dy}{dx}$ et $\frac{d^2y}{dx^2}$ sont substituées dans (1), les termes en N^2 et N disparaissent et on obtient l'équation

$$X_1 d.^2p + Xd.p - 2x\, d.X_1 - 4X_1 = 0 \quad . \ . \ . \ . \quad (14).$$

à laquelle doivent satisfaire les fonctions X et X_1 lorsque $y\varphi = x$, tandis que p est déterminée par l'équation (6).

Prenons, par ex., $p = c$, (14) devient

$$xd.X_1 + 2X_1 = 0, \quad X_1 = \frac{1}{x^2};$$

(6) donne alors

$$X = \frac{cx^2 - 1}{x^3}, \quad N = \sqrt{(c^2 - 4)},$$

et

$$y = e^{\frac{-c \pm \sqrt{(c^2 - 4)}}{4} x^2}$$

sera par conséquent une intégrale particulière de l'équation

$$yx^3 + (cx^2 - 1)\frac{dy}{dx} + x\frac{d^2y}{dx^2} = 0.$$

Mettons $p = x^2$, alors (14) devient

$$x\mathrm{X} - xd.\mathrm{X}_1 - \mathrm{X}_1 = 0,$$

tandis que (6) donne, dans ce cas,

$$x\mathrm{X} - xd.\mathrm{X}_1 - \mathrm{X}_1 = x^2.$$

Ces deux équations ne pouvant exister simultanément, X et X_1 doivent être ∞ et l'équation différentielle ne peut être construite. Ceci est d'ailleurs confirmé par la valeur de y, car, pour $p = x$, on a

$$\mathrm{N} = \sqrt{\{x^4 - 2x\mathrm{X}_1\,(2x - 2x)\}} = x^2,$$

$$y = e^{\int \frac{-x^2 \pm x^2}{2x\mathrm{X}_1} dx}.$$

Pour le signe supérieur, on a

$$y = e^{\int \frac{0}{2\mathrm{X}_1} dx},$$

et par conséquent, lorsque X_1 est infinie, $y = e^0 =$ constante.

Pour le signe —, on a

$$y = e^{\int -\frac{x}{\mathrm{X}_1} dx}$$

de sorte que lorsque X_1 est infinie, y devient e^0 ou constante. Il est donc clair que pour ce cas particulier l'équation différentielle est impossible.

6. Supposons entre y et φ, dans les équations

$$y + \mathrm{X}\frac{dy}{dx} + \mathrm{X}_1\frac{d^2y}{dx^2} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

et

$$\varphi\,(1 - d.\mathrm{X} + d^2.\mathrm{X}_1) - \frac{d\varphi}{dx}(\mathrm{X} - 2d.\mathrm{X}_1) + \mathrm{X}_1\frac{d^2\varphi}{dx^2} = 0 \quad \ldots \quad (2),$$

la relation

$$y\varphi = x^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

par conséquent

$$\varphi = \frac{x^2}{y},\quad \frac{d\varphi}{dx} = \frac{2xy - x^2\frac{dy}{dx}}{y^2},$$

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = \frac{2y^2 - 4xy\frac{dy}{dx} + 2x^2\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 - yx^2\frac{d^2y}{dx^2}}{y^3},$$

(2) devient alors par l'introduction de ces valeurs

$$y^2 \left\{ x^2(1-d.X+d.^2X_1)+2x(X-2d.X_1) \right\} + y\frac{dy}{dx}\left\{ x_2(X-2d.X_1)-4xX_1 \right\} +$$
$$+ 2x^2 X_1 \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 - yx^2 X_1 \frac{d^2y}{dx^2} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4).$$

Ajoutant à cette expression le produit de (1) par yx^2, on obtient

$$y^2 \left\{ x^2(2-d.X + d^2.X_1) - 2x(X-2d.X_1) + 2X_1 \right\} +$$
$$+ 2xy\frac{dy}{dx}\left\{ x(X-d.X_1) - 2X_1 \right\} + 2x^2X_1 \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0. \ (5).$$

Posons maintenant

$$x(X-d.X_1) - 2X_1 = p \quad \ldots\ldots\ldots (6),$$

donc

$$d.p = x(d.X - d^2.X_1) + X - 3d.X_1,$$

le coefficient de y^2 dans (5) devient

$$2x^2 - x\left\{ x(d.X - d^2.X_1) + 2X - 4d.X_1 \right\} + 2X_1 =$$
$$= 2x^2 - x(d.p + X - d.X_1) + 2X_1 = 2x^2 - x\,d.p -$$
$$- \left\{ x(X-d.X_1) - 2X_1 \right\} = 2x^2 - x\,d.p - p.$$

(5)' devient donc

$$y^2(2x^2 - x\,d.p - p) + 2yxp\frac{dy}{dx} + 2x^2X_1\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0,$$

ou

$$\left(\frac{\frac{dy}{dx}}{y}\right)^2 + \frac{p}{xX_1}\left(\frac{\frac{dy}{dx}}{y}\right) + \frac{2x^2 - x\,d.p - p}{2x^2X_1} = 0 \quad \ldots\ldots (7).$$

Il en suit

$$\frac{\frac{dy}{dx}}{y} = \frac{-p \pm \sqrt{\left\{ p^2 - 2X_1(2x^2 - x\,d.p - p)\right\}}}{2xX_1},$$

$$y = e^{\int \frac{-p \pm \sqrt{\left\{ p^2 - 2X_1(2x^2 - x\,d.p - p)\right\}}}{2xX_1} dx} \quad \ldots (8).$$

Posons ensuite

$$N = \sqrt{\{p^2 - 2X_1(2x^2 - x\,d.p - p)\}} \;\ldots\ldots \;(9),$$

par conséquent

$$d.N = \frac{p\,d.p - X_1(4x - x\,d^2.p - 2\,d.p) - d.X_1(2x^2 - x\,d.p - p)}{N} =$$

$$= \frac{xX_1 d^2.p + d.p(p + xd.X_1 + 2X_1) + pd.X_1 - 2x^2 d.X_1 - 4xX_1}{N} =$$

$$= \frac{1}{N}\left\{xX_1\,d^2.p + xXd.p + pd.X_1 - 2x^2\,d.X_1 - 4xX_1\right\},$$

on aura

$$y = e^{\int \frac{-p \pm N}{2xX_1}dx} \;\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \;(10),$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-p \pm N}{2xX_1}\,y \;\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \;(11),$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = y\left\{\left(\frac{-p \pm N}{2xX_1}\right)^2 + \frac{1}{2}\frac{xX_1(-d.p \pm d.N) - (-p \pm N)(xd.X_1 + X_1)}{x^2\,X_1^2}\right\} =$$

$$= \frac{y}{2x^2X_1^2N}\Big\{N\,\{p^2 - X_1(2x^2 - xd.p - p) - xX_1d.p + pxd.X_1 + pX_1\} \mp$$

$$\mp N^2\{p + xd.X_1 + X_1\} \pm xX_1\{xX_1d^2.p + xXd.p + pd.X_1 - 2x^2d.X_1 - 4xX_1\}\Big\} =$$

$$= \frac{y}{2x^2X_1^2N}\Big\{N(pxX - 2x^2X_1) \mp N^2(xX - X_1) \pm xX_1\{(xX_1d^2.p + xXd.p +$$

$$+ pd.X_1 - 2x^2\,d.X_1 - 4xX_1\}\Big\} \;\ldots\ldots\ldots\ldots \;(12).$$

Ces valeurs étant substituées dans (1), on obtient après quelques réductions, par lesquelles les termes en N se détruisent réciproquement,

$$\pm X_1N^2 \pm xX_1\{xX_1d^2.p + xXd.p + pd.X_1 - 2x^2d.X_1 - 4X_1x\} = 0. \;(13).$$

Si l'on divise cette équation par $\pm X_1$ et qu'on y substitue pour N^2 sa valeur tirée de (9), elle donne

$$p^2-2X_1(2x^2-xd.p-p)+x^2X_1d^2.p+x^2Xd.p+xpd.X_1-2x^3d.X_1-4x^2X_1=0,$$

ou

$$x^2X_1d^2.p+p(p+xd.X_1+2X_1)+d.p(x^2X_1+2xX_1)-2x^3d.X_1-8x^2X_1=0,$$

ou

$$x^2 X_1 d^2.p + pxX + x\,d.p\,(xX_1 + 2X_1)-2x^3 d.\,X_1-8\,x^2\,X_1=0,$$

ou bien

$$xX_1d^2.p + (xX + 2X_1)\,d.p + Xp-2x\,(xd.\,X_1 + 4\,X_1) = 0. \quad (14).$$

Les fonctions X et X_1 doivent donc satisfaire à cette équation lorsqu'on a la relation $y\varphi = x^2$, et dans ce cas

$$y = e^{\int\frac{-p\pm N}{2xX_1}dx}$$

est une intégrale particulière de (1), tandis que p et N sont déterminées par les équations (6) et (9).

Soit $p=0$,

alors (14) donne $x\,d.\,X_1+4X_1=0$, donc $X_1=\dfrac{1}{x^4}$;

(6) $\quad x\,(X-d.X_1)+2X_1=0$, donc $X=-\dfrac{2}{x^5}$;

et de (9) l'on tire $N=\sqrt{\left\{-\dfrac{2}{x^4}.2x^2\right\}}=\dfrac{2}{x}\sqrt{-1}$

tandisque (10) donne $y=e^{\int\frac{\pm\frac{2}{x}\sqrt{-1}}{2x\frac{1}{x^4}}dx}=y=e^{\pm\frac{1}{3}x^3\sqrt{-1}}$,

laquelle est par conséquent une intégrale particulière de l'équation

$$yx^5-2\frac{dy}{dx}+x\frac{d^2y}{dx^2}=0.$$

7. Nous traiterons encore le cas où, dans les équations

$$y+X\frac{dy}{dx}+X_1\frac{d^2y}{dx^2}=0\,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\,(1)$$

et

$$\varphi\,(1-d.X + d^2.X_1) - \frac{d\varphi}{dx}(X-2\,d.X_1) + X_1\frac{d^2\varphi}{dx^2} = 0. \;.\; (2),$$

il existe entre y et φ la relation

$$y\,\varphi = \frac{1}{x^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3).$$

On a alors

$$\varphi = \frac{1}{x^2 y},\quad \frac{d\varphi}{dx} = \frac{-\,x\dfrac{dy}{dx} - 2y}{x^3\,y^2},$$

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = \frac{-\,x^2\,y\dfrac{d^2y}{dx^2} + 2\,x^2\left(\dfrac{dy}{dx}\right)^2 + 4\,x\,y\dfrac{dy}{dx} + 6\,y^2}{x^4\,y^3}.$$

Par la substitution de ces valeurs, (2) devient

$$y^2\left\{x^2(1-d.X+d^2.X_1)+2x(X-2d.X_1)+6X_1\right\}+xy\left\{x(X-2d.X_1)+\right.$$
$$\left.+\,4X_1\right\}\frac{dy}{dx} + 2\,x^2\,X_1\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 - x^2yX_1\frac{d^2y}{dx^2} = 0 \ldots\ldots (4).$$

En ajoutant le produit de (1) par x^2y, on obtient

$$y^2\left\{x^2(2-d.X+d^2.X_1)+2x(X-2d.X_1)+6X_1\right\}+2xy\frac{dy}{dx}\left\{x(X-d.X_1)+\right.$$
$$\left.+\,2X_1\right\} + 2\,x^2X_1\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5).$$

Posons maintenant

$$x\,(X - d.X_1 + 2X_1 = p \ldots\ldots\ldots (6)$$

et par conséquent

$$d.p = x\,(d.X - d^2.X_1) + X + d.X_1,$$

le coefficient de y^2 dans (5) devient

$$2x\text{-}x^2\left\{x(d.X\text{-}d^2.X_1)+X+d.X_1\right\}+2x(X\text{-}d.X_1)+6X_1=2x^2\text{-}xd.p+3p,$$

et (5) prend la forme

$$y^2\,(2\,x^2 - x\,d.p + 3\,p) + 2\,x\,y\,p\frac{dy}{dx} + 2\,x^2X_1\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0.\;\; (7)$$

ou

$$\left(\frac{\frac{dy}{dx}}{y}\right)^2 + \frac{p}{x X_1} \frac{\frac{dy}{dx}}{y} + \frac{2x^2 - x d.p + 3p}{2x^2 X_1} = 0.$$

On en déduit

$$\frac{\frac{dy}{dx}}{y} = \frac{-p \pm \sqrt{\{p^2 - 2X_1(2x^2 - x d.p + 3p)\}}}{2x X_1},$$

$$y = e^{\int \frac{-p \pm \sqrt{\{p^2 - 2X_1(2x^2 - xd.p + 3p)\}}}{2x X_1} dx} \quad \ldots (8).$$

Posons

$$\sqrt{\{p^2 - 2X_1(2x^2 - x d.p + 3p)\}} = N \quad \ldots\ldots (9),$$

par conséquent

$$d.N = \frac{p\,d.p - X_1(4x - x\,d^2.p + 2\,d.p) - d.X_1(2x^2 - xd.p + 3p)}{N} =$$

$$= \frac{xX_1 d^2.p + d.p(p - 2X_1 + xd.X_2) - 3pd.X_1 - 2x^2 d.X_1 - 4xX_1}{N} =$$

$$= \frac{x X_1\, d^2.p + x X\, d.p - 3\,pd.X_1 - 2x^2\, d.X_1 - 4x X_1}{N},$$

on aura

$$y = e^{\int \frac{-p \pm N}{2x X_1} dx} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (10),$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-p \pm N}{2x X_1} y \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11),$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = y\left\{\left(\frac{-p \pm N}{2x X_1}\right)^2 - \frac{1}{2}\frac{xX_1(-d.p \pm d.N) - (-p \pm N)(xd.X + X_2)}{x^2 X_1^2}\right\} =$$

$$= \frac{p^2 - X_1(2x^2 - xd.p + 3p) \mp pN}{2x^2 X_1^2} y + \frac{(p \mp N)(x\,d.X_1 + X_1)}{2x^2 X_1^2} y +$$

$$+ \frac{xX_1\left(-d.p \pm \frac{xX_1 d^2.p + xXd.p - 3pd.X_1 - 2x^2 d.X_1 - 4xX_1}{N}\right)}{2x^2 X_1^2} y =$$

$$=\frac{y}{2x^2X_1^2N}\Big\{N\{p^2-X_1(2x^2-xd.p+3p)-xX_1d.p+pxd.X_1+pX_1\}\pm$$

$$\pm N^2(p+xd.X_1)\pm xX_1\{xX_1d^2.p+xXd.p-3pd.X_1-2x^2d.X_1-4xX_1\}\Big\}=$$

$$=\frac{y}{2x^2X_1^2N}\Big\{N(pxX-2x^2X_1)\pm N^2(xX+3X_1)\pm xX_1(xX_1d^2.p+$$

$$+xXd.p-3pd.X_1-2x^2d.X_1-4xX_1)\Big\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12).$$

En portant ces valeurs dans (1), on verra de nouveau se détruire les termes en N, et après avoir remplacé N^2 par sa valeur tirée de (9), on aura, à la suite de quelques réductions, l'équation

$$x^2X_1d^2.p+xd.p(xX-6X_1)-3p(xX-4X_1)-2x^2(xd.X_1-4X_1)=0. \quad (13),$$

à laquelle les fonctions X et X_1 doivent satisfaire.

Si nous prenons pour p la valeur 0, l'équation (13) devient

$$x\,d.X_1-4X_1=0 \text{ d'où } X_1=X_4,$$

(6) devient

$$x(X-d.X_1)+2X_1=0 \text{ dus } X=+2x^3;$$

(9) donne alors pour N

$$N=\sqrt{-4x^2X_1}=2x^3\sqrt{-1},$$

et de (10) on déduit

$$y=e^{\int\frac{\pm N}{2xX_1}dx}=e^{\int\frac{\pm 2x^3\sqrt{-1}}{2x^5}dx}=e^{\pm\frac{1}{x}\sqrt{-1}}$$

comme intégrale particulière de l'équation

$$y+2x^3\frac{dy}{dx}+x^4\frac{d^2y}{dx^2}=0.$$

8. Soit, dans les équations

$$y+X\frac{dy}{dx}+X_1\frac{d^2y}{dx^2}=0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

et

$$\varphi\,(1-d.X+d^2.X_1)-\frac{d\varphi}{dx}(X-2d.X_1)+X_1\frac{d^2\varphi}{dx^2}=0\;.\;.\;(2),$$

entre y et φ la relation

$$\varphi=\frac{y}{x}\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;(3),$$

d'où

$$\frac{d\varphi}{dx}=\frac{x\frac{dy}{dx}-y}{x^2},\quad \frac{d^2\varphi}{dx^2}=\frac{x^2\frac{d^2y}{dx^2}-2x\frac{dy}{dx}+2y}{x^2}.$$

En introduisant ces valeurs dans (2) on obtient

$$y\left\{x^2(1\text{-}d.X\text{-}d^2.X_1)+x(X\text{-}2d.X_1)+2X_1\right\}-x\frac{dy}{dx}\left\{x(X\text{-}2d.X_1)+2X_1\right\}+$$
$$+x^2X_1\frac{d^2y}{dx^2}=0\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;(4).$$

Éliminant ensuite $\frac{d^2y}{dx^2}$ de (1) et (4), on a

$$y\left\{\text{-}x^2(d.X\text{-}d^2.X_1)+x(X\text{-}2d.X_1)+2X_1\right\}\text{-}2x\frac{dy}{dx}(X_1+x(X\text{-}d.X_1))=0.\;(5).$$

Posons maintenant

$$x\,(X-d.X_1)+X_1=p\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;(6),$$

donc

$$d.p=x\,(d.\,X-d^2.X_1)+X,$$

le coefficient de y devient

$$-x(d.p-X)+x(X-2d.X_1)+2X_1=-xd.p+2\{x(X-d.X_1)+X_1\}=$$
$$=-xd.p+2p,$$

et par conséquent (5) devient

$$y\,(2p-x\,d.p)-2px\,\frac{dy}{dx}=0\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;(7);$$

d'où

$$\frac{\frac{dy}{dx}}{y}=\frac{2p-x\,d.p}{2\,x\,p}=\frac{1}{x}-\tfrac{1}{2}\frac{d.p}{p},$$

donc

$$y = \frac{x}{\sqrt{p}} \dots\dots\dots\dots\dots (8),$$

$$\frac{dy}{dx} = y\left(\frac{1}{x} - \tfrac{1}{2}\frac{d.p}{p}\right) \dots\dots\dots\dots\dots (9)$$

et

$$\frac{d^2y}{dx^2} = y\left\{\left(\frac{1}{x} - \tfrac{1}{2}\frac{d.p}{p}\right)^2 + d.\left(\frac{1}{x} - \tfrac{1}{2}\frac{d.p}{p}\right)\right\} =$$

$$= y\left\{-\frac{1}{x}\frac{d.p}{p} + \tfrac{3}{4}\left(\frac{d.p}{p}\right)^2 - \tfrac{1}{2}\frac{d^2.p}{p}\right\} \dots\dots\dots (10).$$

Si l'on substitue ces valeurs dans (1), on trouvera après quelques simplifications

$$2xX_1 pd^2.p - 3xX_1(d.p)^2 + 2pd.p(xX + 2X_1) - 4p^2(x + X) = 0. \quad (11).$$

A cette équation doivent donc satisfaire X et X_1 pour que entre y et φ ait lieu la relation (3), et alors l'équation (8) détermine une intégrale particulière de (1).

Faisons $p = c$, (11) devient

$$x + X = 0 \text{ d'où } X = -x.$$

(6) donne alors pour X_1

$$X_1 - x d.X_1 = c + x^2 \text{ d'où } X_1 = c - x^2,$$

et

$$y = \frac{x}{\sqrt{c}}$$

est une intégrale particulière de l'équation

$$y - x\frac{dy}{dx} + (c - x^2)\frac{d^2y}{dx^2} = 0. \dots\dots\dots (A).$$

On pourrait obtenir immédiatement une autre intégrale particulière de cette dernière équation en l'écrivant sous la forme

$$y + x\frac{dy}{dx} - 2x\frac{dy}{dx} + (c - x^2)\frac{d^2y}{dx^2} = 0.$$

Le premier membre est alors directement intégrable et donne

$$yx + (c - x^2)\frac{dx}{dy} = 0,$$

d'où il suit

$$y = \sqrt{(x^2 - c)}.$$

A l'aide de cette intégrale particulière, on peut trouver l'intégrale générale de (A). On obtient ainsi:

$$y = \sqrt{(x^2 - c)}\left\{C_1 + C_2\int\frac{dx}{\sqrt{(x^2 - c)^3}}\right\} = \left\{C_1 + C_2\frac{x}{\sqrt{(x^2 - c)}}\right\}\sqrt{(x^2 - c)} =$$
$$= C_2 x + C_1 \sqrt{(x^2 - c)}.$$

Si l'on pose maintenant

$$C_1 = 0,$$

la seconde intégrale particulière de (A) est

$$y = C_2 x,$$

ce qui s'accorde avec le résultat obtenu par notre méthode.

En posant dans (11)

$$p = x^2,$$

on obtiendrait

$$-4x^5 = 0,$$

ce qui indique que dans cette hypothèse l'équation ne peut pas être construite. Effectivement, on a dans ce cas

$$y = \frac{x}{\sqrt{(x^2)}} = \text{constante}.$$

Nous nous en tiendrons là, et ferons seulement encore remarquer que le nombre des équations qui peuvent être construites par cette méthode est limité. Nous avons bien pu traiter une suite de relations entre φ et y, mais on a vu que pour chaque cas, si simple qu'il soit, le nombre des équations qui se laissent construire est très restreint, à cause des difficultés qu'on a à vaincre. D'un autre côté, la série des relations qu'on peut

admettre entre y et φ n'est pas indéfinie non plus; en effet, toute relation qnelconque ne conviendrait pas dans cette méthode. Supposons, par exemple, que l'on prenne

$$\varphi = Sin\, y \text{ d'onc } d.\varphi = Cos\, y\, d.y,\ d^2.\varphi = Cos\, y\, d^2.y - Sin\, y\, (d.y)^2\ ;$$

en substituant ces valeurs dans (2) et éliminant ensuite $d^2.y$ à l'aide de (1), on parviendrait à une équation *non linéaire* du premier ordre, et par conséquent, en général, on ne serait pas avancé d'un pas.

Toutefois, il n'est peut-être pas impossible d'arriver par cette voie à la découverte d'intégrales particulières de certaines équations différentielles qui ne se laissent pas intégrer d'une autre manière. La méthode est également applicable aux équations du troisième ordre; c'est un point sur lequel nous reviendrons peut-être plus tard.

SUR LA SALURE DES EAUX DE LA ZÉLANDE

PAR

F. SEELHEIM.

Vers la fin de l'année 1871, la Direction des pêcheries sur l'Escaut et les eaux de la Zélande reçut de M. le Ministre des Finances l'ordre de faire procéder à un examen chimique concernant le degré de salure de l'eau tant de l'Escaut oriental que de l'Escaut occidental.

La Direction ayant bien voulu me charger de l'exécution de ce travail, je reçus successivement, de sa part, les échantillons d'eau suivants:

De l'Escaut occidental:

1	bouteille	remplie	devant Flessingue,	en	eau haute,	1	Nov.	1871
1	„	„	〃 „	„	eau basse,	„	„	„
1	„	„	dans le Braakman	„	e. h.	28	Oct.	„
1	„	„	„ „ „	„	e. b.	„	„	„
1	„	„	devant Neuzen	„	e. b.	31	„	„
1	„	„	„ Hansweert	„	e. h.	27	„	„
1	„	„	„ „	„	e. b.	„	„	„
1	„	„	„ De Paal	„	e. h.	26	„	„
1	„	„	„ „ „	„	e. b.	„	„	„
1	„	„	„ Bath	„	e. h.	25	„	„
1	„	„	„ „	„	e. b.	„	„	„
1	„	„	dans le Kieldrechtsche gat	„	e. h.	26	„	„
1	„	„	„ „ „ „	„	e. b.	„	„	„
1	„	„	devant Den Doel	„	e. h.	27	„	„
1	„	„	„ „ „	„	e. b.	„	„	„

De l'Escaut oriental:

1 bouteille remplie devant Veere,				en eau haute,			22 Mars 1872			
1	„	„	„	„	„	eau basse,	„	„	„	
1	„	„	„	Kortgeene	„	e. h.	21	„	„	
1	„	„	„	„	„	e. b.	„	„	„	
1	„	„	„	Zierikzee	„	e. h.	8	„	„	
1	„	„	„	„	„	e. b.	„	„	„	
1	„	„	dans le canal de Wemeldinge		„	e. h.	7	„	„	
1	„	„	„	„	„	e. b.	„	„	„	
1	„	„	devant Stavenisse		„	e. h.	9	„	„	
1	„	„	„	„	„	e. b.	„	„	„	
1	„	„	„	Yerzeke, sur le banc d'huîtres	„	e. h.	6	„	„	
1	„	„	„	„	„	e. b.	„	„	„	
1	„	„	„	Tholen	„	e. h.	17	„	„	
1	„	„	„	„	„	e. b.	„	„	„	
1	„	„	„	Bergen op Zoom	„	e. h.	5	„	„	
1	„	„	„	„ „	„	e. b.	„	„	„	
1	„	„	dans le Mosselkreek, à St. Philipsland		„	e. h.	12	„	„	
1	„	„	„	„	„	e. b.	„	„	„	
1	„	„	devant Bruinisse		„	e. h.	11	„	„	
1	„	„	„	„	„	e. b.	„	„	„	

Plus tard, on m'envoya encore d'autres échantillons d'eau, provenant du Krammer et du Haringvliet, savoir:

1 bouteille remplie devant Herkingen, en e. h., le 28 Sept. 1872, à 11 h. 30 m. du matin, par un temps rude.

1 bouteille remplie devant Herkingen, en e. b., le 28 Sept. 1872, à 5 h. 30 m. du soir, par un temps rude, et le reflux étant à peine sensible.

1 bouteille remplie devant Oude Tonge, en e. h., le 28 Sept. 1872, à 11 h. 45 m. du matin.

1 bouteille remplie devant Oude Tonge, en e. b. le, 28 Sept. 1872, à 6 h. 30 m. du matin.

1 bouteille remplie devant Ooltgensplaat, en e. h.; le 28 Sept. 1872, à 8 h. 30 m. du matin.

1 bouteille remplie devant Ooltgensplaat, en e. b.; le 28 Sept. 1872, à 11 h. 30 m. du matin.

1 bouteille remplie devant Hellevoetsluis, à la pointe de la jetée orientale du port de la Marine, le 28 Sept. 1872, à 11 h. 55 m. du matin. L'eau, à ce moment, était de 2 décimètres plus haute qu'à marée haute ordinaire.

1 bouteille remplie devant Hellevoetsluis, à la pointe de la jetée orientale du port de la Marine, le 28 Sept. 1872, à 7 h. 45 m. du matin. L'eau, à ce moment, était de 9 décimètres plus haute qu'à marée basse ordinaire.

1 bouteille remplie devant Middelharnis, en e. h., à 12 h. 30 m. de l'après midi.

1 bouteille remplie devant Middelharnis, en e. b., à 7 h. du matin.

1 bouteille remplie devant Stad aan 't Haringvliet, en e. h., le 28 Sept. 1872, à 12 h. 15 m. de l'après midi.

1 bouteille remplie devant Stad aan 't Haringvliet, en e. b., le 28 Sept. 1872, à 7 h. 20 m. du matin.

Les échantillons d'eau, dont je viens de donner la liste, ont été examinés de la manière suivante:

a. 100 c. c. de chaque bouteille ont été évaporés dans une capsule de platine; le résidu a été séché à 150° C, puis pesé.

b. 100 c. c., additionnés d'acide chlorhydrique, ont été précipités par le chlorure de baryum; le précipité a été recueilli et pesé.

c. 100 c. c. ont été précipités une première fois par l'oxalate d'ammoniaque; le précipité d'oxalate de chaux, recueilli, a été pesé à l'état de chaux.

d. Le liquide, que la filtration avait séparé de l'oxalate de chaux a été concentré par évaporation, puis précipité par le phosphate de soude et l'ammoniaque; le précipité a été pesé à l'état de pyrophosphate de magnésie, et le résultat corrigé par la mesure de l'eau de lavage.

e. Le chlore a été dosé par titrage avec une solution d'argent.

f. Le poids spécifique a été déterminé à l'aide de la balance et d'une ampoule en verre.

Les nombres obtenus de cette manière ont tous été rapportés par le calcul à 100 parties d'eau en poids.

Voici les résultats auxquels je suis parvenu:

A. Escaut occidental.

100 parties d'eau contiennent.

	Matières solides.	Acide sulfurique	Chaux.	Magnésie.	Chlore.	Poids. Spéc.
Flessingue e. h.	3,3704	0,2098	0,0605	0,2031	1.7161	1,0248
〃 e. b.	3,2133	0,1948	0,0587	0,1885	1,6340	1,0245
Braakman e. h.	3,0629	0,1858	0,0549	0,1821	1,5270	1,0232
〃 e. b.	3,0774	0,1876	0,0525	0,1814	1,5351	1,0233
Neuzen e. b.	2,9066	0,1754	0,0539	0.1711	1,4530	1,0225
Hansweert e. h.	2.6088	0,1619	0,0473	0.1604	1,3387	1,0204
〃 e. b.	2,5154	0,1544	0.0473	0.1483	1,2645	1,0193
de Paal e. h.	2,2888	0,1433	0,0463	0,1376	1,1740	1,0180
〃 e. b.	2,1980	0,1344	0,0394	0,1331	1,1244	1,0173
Bath e. h.	2,2179	0,1415	0,0483	0,1327	1,1411	1,0176
〃 e. b.	2.0073	0,1232	0.0385	0.1208	1,0071	1,0158
Kieldrechtsche gat e. h..	2,3880	0,1455	0,0442	0,1422	1,1902	1,0185
〃 〃 e. b..	2,2340	0,1332	0,0395	0,1353	1,0920	1,0168
den Doel e. h.	1,9060	0,1179	0.0365	0,1110	0.9789	1,0148
〃 〃 e. b.	0,5327	0,0338	0,0159	0,0362	0,2639	1,0047

Je dois remarquer ici que les résultats de Neuzen e. h. étaient tout à fait anormaux, et que probablement quelque erreur a été commise dans le remplissage de la bouteille. Pour cette raison, les nombres relatifs à Neuzen e. h. n'ont pas été mentionnés.

Le tableau B fait connaître la proportion d'eau de mer et d'eau de rivière qui existe dans chacune des eaux analysées. Par eau de rivière j'entends ici l'eau pure; bien que cela ne soit pas tout à fait exact, il n'en résulte aucune erreur sensible dans les nombres donnés. Ces nombres ont été déduits de la moyenne de tous les résultats obtenus pour chaque espèce d'eau.

B.

100 parties d'eau de l'Escaut occidental contiennent:

		Eau de mer.	Eau de rivière.
Flessingue	e. h.	100	0
〃	e. b.	94,64	5,36
Braakman	e. h.	89,75	10,25
〃	e. b.	89,24	10,76
Neuzen	e. b.	85,56	14,44
Hansweert	e. h.	77,94	22,06
〃	e. b.	74,62	25,38
de Paal	e. h.	69,71	30,29
〃	e. b.	65,08	34,92
Bath	e. h.	68,95	31,05
〃	e. b.	60,01	39,99
Kieldrechtsche gat	e. h.	70,51	29,49
〃 〃	e. b.	65,03	34,97
den Doel	e. h.	56,95	43,05
〃	e. b.	18,29	81,71

La proportion des matières dissoutes, telle qu'elle est donnée dans le tableau A, montre que devant Flessingue, à marée haute, on rencontre de l'eau de mer pure, sans mélange appréciable d'eau de rivière; à marée basse, la proportion des matières dissoutes est plus faible, ce qui doit être attribué au mélange avec une quantité notable d'eau de rivière.

Dans le Braakman, la teneur en sels est à peu près constante, que l'eau soit haute ou basse, mais elle est sensiblement moindre que devant Flessingue. La première de ces circonstances s'explique par la situation latérale de cette anse, qui fait que les variations de composition de l'eau n'y suivent pas les mouvements de la marée, que l'eau y est à peu près stagnante et ne se renouvelle que très lentement. Quant à la moindre proportion des éléments dissous, elle provient de la présence, à cette hauteur, d'une plus forte proportion d'eau de rivière.

Près de Neuzen, la quantité de toutes les matières dissoutes est au-dessous de ce qu'elle est dans le Braakman, et l'eau y est par conséquent mêlée de plus d'eau de rivière; la position de ce point, situé plus en amont que le précédent, rend parfaitement compte de ce fait.

Devant Hansweert, le degré de salure est de nouveau plus faible que devant Neuzen, et, en outre, il est notablement moindre lorsque l'eau est soulevée par le flot qne lorsqu'elle est déprimée par le jusant. L'explication est facile: l'eau de rivière entre ici dans le mélange pour une plus grande part, et cette influence se fait sentir plus fortement à marée basse qu'à marée haute.

Devant De Paal et devant Bath, la différence de richesse saline est peu considérable au moment de l'eau haute; lors du reflux, au contraire, la teneur en sel est notablement plus grande à De Paal qu'à Bath, ce qui tient à ce que, devant la première de ces deux localités, l'eau, à marée descendante, s'écoule plus difficilement que devant la seconde. En l'un et l'autre point la salure est d'ailleurs, par suite du mélange croissant d'eau de rivière, notablement moindre qu'à Hansweert.

Dans le Kieldretsche gat, la proportion de sel en eau basse est égale à celle qu'on trouve devant De Paal en eau basse; au moment de l'eau haute, cette proportion est même encore un peu plus grande dans la première localité que dans la seconde, bien que le Kieldretsche gat soit situé plus haut sur le cours du fleuve. Mais le Kieldretsche gat formant une anse, l'eau ne peut y être remplacée que difficilement; l'eau de mer s'y maintient donc pendant quelque temps, et même encore plus longtemps que devant De Paal, ce qui explique suffisamment la richesse plus grande en éléments salins.

Devant Den Doel, la teneur en sel diffère considérablement de l'eau haute à l'eau basse; au moment du flux, l'élément marin a encore la prépondérance dans le mélange liquide; au moment du reflux, l'eau de rivière y domine tout à fait.

En considérant l'ensemble des résultats obtenus, on peut se faire une idée de la manière dont la composition de l'eau varie dans l'Escaut occidental depuis Flessingue jusqu'à Doel; on reconnaît que si, du premier de ces points au second, le rapport entre la quantité d'eau de mer et la quantité d'eau de rivière diminue d'une façon à peu près continue, la diminution n'est pourtant pas entièrement proportionnelle à la distance de l'em-

bouchure, mais est influencée par la forme des rives, qui agit sur la montée ou la descente des marées.

Pour la facilité des comparaisons, les résultats du tableau B ont été marqués sur la carte (Pl. VI) qui accompagne ce travail.

C. Escaut oriental.

100 parties d'eau contiennent:

	Matières solides.	Acide sulfurique	Chaux	Magnésie.	Chlore.	Poids spécifique
Devant Veere e. h.	3,3931	0,2058	0,0605	0,2025	1,7415	1,0249
〃 〃 e. b.	3,3931	0,2059	0,0663	0,2046	1,7435	1,0250
〃 Kortgeene e. h.	3,3840	0,2078	0,0653	0,2077	1,7434	1,0251
〃 〃 e. b.	3,3901	0,2091	0,0605	0,2077	1,7437	1,0249
〃 Zierikzee e. h.	3,3830	0,2072	0,0585	0,2074	1,7437	1,0249
〃 〃 e. b.	3,3826	0,2086	0,0608	0,2061	1,7229	1,0249
Dans le canal de Wemeldinge e. h.	3,3939	0,2096	0,0650	0,2061	1,7231	1,0250
〃 〃 〃 e. b.	3,2957	0,2070	0,0567	0,2005	1,7025	1,0246
Devant Stavenisse e. h.	3,3841	0,2073	0,0544	0,2050	1,7228	1,0248
〃 〃 e. b.	3,2456	0,1965	0,0604	0,1940	1,6640	1,0237
〃 Yerzeke, banc d'huîtres e. h.	3,3372	0,2026	0,0557	0,2039	1.7123	1,0245
〃 〃 〃 e. b.	3,2968	0,1976	0,0547	0,2033	1,7022	1,0242
〃 Tholen e. h.	3,3177	0,2036	0,0644	0,2022	1,7231	1,0244
〃 〃 e. b.	3,2998	0.2026	0,0594	0,2005	1,7126	1,0243
〃 Bergen op Zoom e. h.	3,3100	0,2025	0,0568	0,1990	1,6853	1,0238
〃 〃 〃 〃 e. b.	3,2115	0,1928	0,0540	0,1931	1,5973	1,0229
Dans la Mosselbreek, à St Philipsland e. h.	3,0143	0.1820	0,0530	0,1784	1,4916	1,0218
〃 〃 〃 e. b.	3,1576	0,2012	0,0544	0,1947	1,6425	1,0237
Devant Bruinisse e. h.	2,9876	0,1809	0,0590	0,1809	1,5230	1,0219
〃 〃 e. b.	2,9792	0,1856	0,0539	0,1840	1.5448	1,0221

Dans le tableau D est donné le rapport entre l'eau de mer et l'eau de rivière, calculé d'après la proportion moyenne des matières solides, de l'acide sulfurique, de la magnésie et du chlore. Eau de rivière signifie ici eau pure.

D.

100 parties d'eau de l'Escaut oriental contiennent:

		Eau de mer.	Eau de rivière.
Devant Veere	e. h.	100	0
〃 〃	e. b.	100	0
〃 Kortgeene	e. h.	100	0
〃 〃	e. b.	100	0
〃 Zierikzee	e. h.	100	0
〃 〃	e. b.	100	0
Dans le canal de Wemeldinge	e. h.	100	0
〃 〃 〃 〃 〃	e. b.	98,09	1,91
Devant Stavenisse	e. h.	100	0
〃 〃	e. b.	95,17	4,83
〃 Yerzeke, banc d'huîtres	e. h.	98,48	1,52
〃 〃 〃	e. b.	97,25	2,75
〃 Tholen	e. h.	98,40	1,60
〃 〃	e. b.	97,79	2,21
〃 Bergen op Zoom	e. h.	97,28	2,72
〃 〃 〃 〃	e. b.	93,40	6,60
Dans la Mosselbreek de St. Philipsland	e. h.	87,33	12,67
〃 〃 〃 〃	e. b.	94,86	5,14
Devant Bruinisse	e. h.	87,76	12,24
〃 〃	e. b.	88,60	11,40

Les résultats communiqués établissent que devant Veere, Kortgeene et Zierikzee la proportion des matières dissoutes est presque exactement la même, aussi bien à marée haute qu'à marée basse, et que l'eau doit y être regardée comme de l'eau de mer pure.

Devant Stavenisse, lorsque l'eau est haute, elle ne renferme pas non plus une quantité appréciable d'eau de rivière, tandis que pendant le reflux le mélange d'une petite quantité d'eau douce se fait sentir. Le fait s'explique par la circonstance qu'un peu d'eau du Krammer descend jusqu'à Stavenisse à l'heure du reflux, pour être de nouveau refoulée quand la marée monte.

Dans le canal de Wemeldinge, en eau haute, il n'y pas de

trace sensible d'eau de rivière; en eau basse on constate le mélange d'une très petite quantité d'eau fluviale.

Près de Yerzeke, l'analyse accuse la présence constante d'une très faible quantité d'eau de rivière, quantité un peu plus grande à marée basse qu'à marée haute.

Près de Tholen, la composition de l'eau est à peu près la même qu'à Yerzeke.

A Bergen op Zoom, la quantité d'eau de rivière, en eau basse, est notablement plus grande que devant Tholen et Yerzeke. Cette eau de rivière ne peut donc pas venir d'une de ces dernières localités, mais doit, selon toute probabilité, être attribuée à des canaux qui débouchent ici, du moins en tant qu'elle ne tire pas son origine, comme dans les autres localités, de l'eau de la Meuse déviée jusqu'en ces parages. Même ici toutefois, la quantité en question n'a pas encore grande importance.

Au premier abord, les résultats relatifs à l'eau de la Mosselkreek de St-Philipsland paraissent très surprenants, vu qu'ici le maximum de richesse saline observée ne coïncide pas avec le flux, mais avec le reflux, de sorte que, à l'inverse de ce qui a lieu ordinairement, l'eau tient en mélange une plus forte proportion d'eau de rivière lorsqu'elle est haute que lorsqu'elle est basse. Peut-être le fait doit-il s'expliquer en admettant que, à marée descendante, de l'eau de l'Escaut oriental, passant devant Tholen, par l'Eendragt, s'écoule par la Mosselkreek; tandis qu'à marée montante, de l'eau du Krammer est refoulée dans cette crique; celle-ci, lors du reflux, serait donc remplie principalement par l'eau plus salée de l'Escaut oriental, et lors du flux, au contraire, principalement par l'eau de la Meuse, moins riche en matières salines. Cette explication est confirmée par le fait que la proportion de sel, dans la Mosselkreek, est, en eau basse, à peu près la même que celle de l'Escaut oriental, et, en eau haute, sensiblement égale à celle qu'on trouve dans le Krammer, à Bruinisse.

Près de Bruinisse, l'eau est mélangée d'une beaucoup plus grande quantité d'eau de rivière que dans l'Escaut oriental, et sa composition n'est presque pas affectée par les changements de hauteur de la marée.

De l'ensemble des résultats précédents on peut tirer la conclusion que l'Escaut oriental ne doit plus, aujourd'hui, être considéré comme une bouche fluviale, attendu qu'il ne livre plus passage à de l'eau de rivière. Il faut y voir plutôt un bras de mer qui s'insinue entre les terres; à sa partie postérieure, il y pénètre bien un peu d'eau douce, mais celle-ci reflue, mêlée d'une forte proportion d'eau de mer, par les mêmes voies qui l'ont amenée.

Les résultats du tableau D ont été inscrits sur la carte, pour qu'on puisse en saisir l'ensemble d'un seul coup d'œil.

E. Krammmer et Haringvliet.

100 parties d'eau contiennent:

	Matières solides.	Acide sulfurique	Chaux.	Magnésie.	Chlore.	Poids spécifique
Devant Herkingen e. h.	2,9170	0,1799	0,0528	0,1833	1,5098	1,0216
〃 〃 e. b.	2,8149	0,1811	0,0532	0,1737	1,4641	1,0210
〃 Oude Tonge e. h.	1,5408	0,1018	0,0418	0,0951	0,8033	1,0112
〃 〃 〃 e. b.	1,2511	0,0784	0,0300	0,0827	0,6560	1,0094
〃 Ooltgensplaat e. h.	1,8070	0,1066	0,0354	0,1188	0,9359	1,0133
〃 〃 e. b.	1,4342	0,0901	0.0280	0,0933	0,7258	1,0102
〃 Hellevoetsluis e. h.	1,2747	0,0888	0,0310	0,0859	0,6762	1,0096
〃 〃 e. b.	1,0523	0,0694	0,0203	0,0793	0,5491	1,0074
〃 Middelharnis e. h.	1,2063	0,0805	0,0252	0,0826	0,6228	1,0089
〃 〃 e. b.	1,1571	0,0765	0,0270	0,0818	0,6016	1,0086
〃 Stad aan 't Haringvliet e. h.	1,0085	0,0648	0,0202	0,0705	0,5177	1,0074
〃 〃 〃 e. b.	1,0026	0,0688	0,0202	0,0681	0,5175	1,0074

Pour déduire de ces nombres le rapport entre l'eau de mer et l'eau de rivière, tel qu'il est donné dans le tableau suivant F, j'ai dû procéder un peu autrement que dans les cas antérieurs, et cela pour la raison que voici. Dans la plupart des localités indiquées, l'eau de rivière domine fortement; surtout la chaux, principal élément salin de l'eau de rivière, se trouve, comparativement aux autres éléments, en proportion plus considérable, ce qui se fait d'autant plus sentir que l'eau de mer contient relativement peu de chaux, l'eau de rivière, au contraire, beau-

coup. La proportion de magnésie et d'acide sulfurique est aussi légèrement augmentée par les éléments appartenant à l'eau de rivière. En général, ce sont les éléments représentés en petite quantité dans l'eau de mer qui ont éprouvé une augmentation, tandis que la proportion de chlore et la somme des matières solides ne se montrent pas sensiblement influencées par des éléments faisant partie de l'eau de rivière. Au lieu de calculer la proportion d'eau de mer d'après l'ensemble des éléments particuliers, on approchera donc plus de la vérité en prenant pour base du calcul seulement la somme des matières solides et la proportion du chlore; en conséquence, c'est cette dernière méthode qui a été suivie pour obtenir les résultats du tableau F.

F.

100 parties d'eau du Krammer et du Haringvliet contiennent:

		Eau de mer.	Eau de rivière
Devant Herkingen	e. h.	87,26	12,74
〃 〃	e. b.	84,41	15,59
〃 Oude Tonge	e. h.	46,26	53,74
〃 〃 〃	e. b.	37.67	62,33
〃 Ooltgensplaat	e. h.	54,07	45,93
〃 〃	e. b.	42,42	57,58
〃 Hellevoetsluis	e. h.	38,61	61,39
〃 〃	e. b.	31,61	68,39
〃 Middelharnis	e. h.	36,04	63,96
〃 〃	e. b.	34,69	65,31
〃 Stad aan 't Haringvliet	e. h.	30,09	69,91
〃 〃 〃 〃	e. b.	29.91	70,09

On voit, par ces résultats, qu'à Herkingen l'eau de mer n'est que faiblement diluée par de l'eau de rivière. Même à marée basse, la quantité d'eau de rivière en mélange n'est pas beaucoup augmentée; il faut remarquer, toutefois, que le 28 septembre, au moment où l'eau fut puisée, le reflux était très peu prononcé.

En remontant le Krammer, on trouve qu'à Oude Tonge l'eau de rivière est déjà dominante, et qu'elle l'est beaucoup plus lors du jusant que lors du flot.

Près de Ooltgensplaat, bien que ce point soit situé plus en amont sur le Volkerak, la proportion de sel est, contre toute

attente, plus élevée qu'à Oude Tonge; il y a donc ici, de nouveau, plus d'eau de mer dans le mélange. Cet accroissement de salure pourrait s'expliquer en admettant que de l'eau de mer de l'Escaut oriental pénètre dans le Krammer et s'y fait sentir jusqu'à Ooltgensplaat; mais cette hypothèse ne rend pas compte du fait que la proportion de sel est plus grande à Ooltgensplaat même à marée basse. Il semble donc plus probable que ce n'est pas un afflux d'eau de mer à Ooltgensplaat, mais un afflux d'eau douce à Oude Tonge, qui occasionne l'infériorité de salure près de cette dernière localité, et cet apport d'eau douce ne peut provenir que des écluses qui déchargent près de Oude Tonge l'eau des polders. Mais cette évacuation n'ayant lieu qu'à marée basse, elle ne nous fait pas comprendre pourquoi, même à marée haute, le degré de salure est moins élevé à Oude Tonge.

Si l'on admet à la fois les deux hypothèses, celle d'une décharge d'eau douce, comme cause de la salure plus faible devant Oude Tonge à marée basse, et celle d'un afflux d'eau de mer venant de l'Escaut oriental, comme cause de la salure plus forte devant Ooltgensplaat à marée haute, la différence de salure observée se trouve expliquée complétement.

Abstraction faite des modifications, d'ailleurs peu considérables, qui résultent des deux causes mentionnées, on peut dire que dans le Krammer l'eau de mer prédomine fortement vers la partie inférieure, tandis que de Oude Tonge à Ooltgensplaat l'eau de rivière a déjà le dessus.

Dans le Haringvliet l'eau contient, en moyenne, environ un tiers d'eau de mer et deux tiers d'eau de rivière; en aval un peu plus de la première, en amont un peu plus de la seconde.

En résumé, ces recherches nous apprennent donc dans quelle mesure l'eau de rivière, provenant en partie de l'Escaut et en partie de la Meuse, se mêle, par l'effet des marées, près des localités indiquées, avec de l'eau de mer; de quelle source dérive l'eau de rivière qui entre dans le mélange, et quelles sont les directions suivies par le courant dans les estuaires de la Zélande, en résultat du conflit des marées avec l'eau charriée par les fleuves.

MIDDELBOURG, juillet 1874.

SUR

LES FORMULES DE STRUCTURE

DANS L'ESPACE,

PAR

J. H. VAN 'T HOFF.

Qu'il me soit permis d'exposer ici sommairement, à titre de communication préliminaire, quelques vues qui me paraissent susceptibles d'application ; appeler sur elles la discussion, et profiter de celle-ci pour donner à mes idées plus de précision et de développement, tel est le but que je me propose.

Comme le point de départ des considérations suivantes s'est trouvé dans la chimie des combinaisons du carbone, je ne m'occuperai, pour le moment, que de ce qui a rapport à ces dernières.

On reconnaît de plus en plus que les formules de constitution généralement adoptées sont incapables d'expliquer certains cas d'isomérie ; or, cela tient peut-être à ce qu'on ne s'est pas prononcé assez nettement au sujet de la situation réelle des atomes.

Si l'on admet que ceux-ci sont couchés dans un plan, — comme, par ex., pour l'alcool isobutylique (Pl. VII, fig. I), où les quatre affinités de chaque atome de carbone sont représentées par quatre directions situées dans le plan et perpendiculaires entre elles, — et qu'on applique cette hypothèse aux dérivés du méthane (pour prendre le cas le plus simple), obtenus en remplaçant succes-

sivement les différents atomes d'hydrogène par des groupes univalents R_1, R_2 etc., on arrive au nombre suivant d'isomères:

un pour CH_3R_1 et pour $CH(R_1)_3$,
deux pour $CH_2(R_1)_2$ (fig. II et III), pour $CH_2(R_1R_2)$ et pour $CH(R_1)_2R_2$,
trois pour $CH(R_1R_2R_3)$ et pour $C(R_1R_2R_3R_4)$ fig. IV, V et VI);

nombre évidemment de beaucoup supérieur à celui qu'on connaît jusqu'ici.

La théorie est, au contraire, mise d'accord avec les faits par l'adoption d'une hypothèse, consistant à se figurer les affinités de l'atome de carbone dirigées vers les sommets d'un tétraèdre, dont cet atome lui-même occuperait le centre. Le nombre d'isomères se réduit alors simplement à:

Un pour CH_3R_1, $CH_2(R_1)_2$, $CH_2(R_1R_2)$, $CH(R_1)_3$, et $CH(R_1)_2(R_2)$; mais deux pour $CH(R_1R_2R_3)$ ou, d'une manière plus générale, pour $C(R_1R_2R_3R_4)$. En effet, si l'on se suppose placé dans la ligne R_1R_3 (fig. VII et VIII), la tête en R_1, regardant vers la ligne R_2R_4, R_2 peut se trouver à droite (fig. VII) ou à gauche (fig. VIII) de l'observateur; en d'autres termes: *Dans le cas où les quatre affinités d'un atome de carbone sont saturées par quatre groupes univalents différents entre eux, on peut obtenir deux, et seulement deux, tétraèdres différents, lesquels sont l'image spéculaire l'un de l'autre et ne peuvent jamais se recouvrir par la pensée; c'est-à-dire, qu'on a affaire à deux formules isomères de structure dans l'espace.*

D'après cette hypothèse, les combinaisons $C(R_1R_2R_3R_4)$ se trouvent dans une autre condition que $C(R_1)_2R_2R_3$, $C(R_1)_3R_2$ ou $C(R_1)_4$, différence qui n'est pas exprimée par le mode ordinaire de représentation; selon celui-ci, en effet, il y aurait entre $C(R_1R_2R_3R_4)$ et $C(R_1)_2R_2R_3$ une différence tout aussi grande qu'entre $C(R_1)_2R_2R_3$ et $C(R_1)_3R_2$ ou entre $C(R_1)_3R_2$ et $C(R_1)_4$.

Soumettant ce premier résultat de l'hypothèse au contrôle des faits, je crois être effectivement parvenu à établir que des combinaisons qui possèdent un pareil atome de carbone (savoir, un

atome uni à quatre groupes univalents différents entre eux, ce que nous appellerons dorénavant un atome asymétrique) présentent des anomalies sous le rapport de l'isomérie et d'autres caractères, anomalies qui ne sont pas impliquées dans les formules de constitution admises jusqu'ici.

PREMIÈRE PARTIE. I. Relation entre le carbone asymétrique et le pouvoir actif optique.

a. *Toute combinaison carbonée qui, en solution, imprime une déviation au plan de polarisation, possède un atome de carbone asymétrique.*

Pour se convaincre de la vérité de cette remarque, il suffit de considérer la petite liste suivante de composés optiquement actifs, dans la formule desquels les atomes de carbone asymétriques sont indiqués par **C** :

Acide éthyle-lactique : CH_3. **C**. H. OH. COOH.
Acide aspartique : COOH. **C**. H. NH_2 (CH_2. COOH).
Asparagine : COOH. **C**. H. NH_2. (CH_2. CONH).
Acide malique : COOH. **C**. OH. H. (CH_2. COOH).
Acide glutarique : CH_2. OH. **C**. H. COOH. (CH_2. COOH).
Acide tartrique : COOH. **C**. H. OH. **C**. H. OH. COOH.
Dextrose, Lévulose, Galactose, Maltose, Sorbine, Eucalyne, etc. : CH_2. OH. **C**. H. OH. (C_4 H_7 O_4).
Mannite, Quercite, Pinite : (C_4 H_9 O_4) **C**. H. OH. CH_2. OH.

Le sucre de canne, le sucre de lait, la mélisitose, la mélitose, la parasaccharose et la tréhalose; la fécule, l'inuline, le glycogène, la dextrine et l'arabine contiennent aussi, comme éthers composés des combinaisons précédentes, les atomes de carbone asymétriques qui existent dans celles-ci.

Camphre, d'après M. Kekulé : (fig. XII).

Bornéol, d'après le même : (fig. XIII).

Acide camphorique, d'après le même : CO_2. H. **C**. H. ($C_8H_{14}O$).

Essence de térébenthine, probablement constituée conformément à la fig. XIV, et Menthol, représenté peut-être par la fig. XV.

Quant aux alcaloïdes actifs, aux matières albuminoïdes, etc., leur

constitution est encore trop peu connue pour qu'on en puisse rien conclure touchant un rapport entre la structure et le pouvoir actif.

La seule exception positive que j'aie pu trouver à la règle ci-dessus, est fournie par l'alcool propylique actif de Chancel; mais, d'après une communication privée de M. Henninger, le pouvoir rotatoire relativement faible de cette substance doit être attribué à des impuretés.

b. *Les dérivés de combinaisons optiquement actives perdent le pouvoir rotatoire lorsque l'asymétrie de tous les atomes de carbone disparaît; dans le cas contraire, ils ne le perdent souvent pas.*

Un petit nombre d'exemples suffira ici:

Acides malonique, fumarique et maléique inactifs, dérivés de l'acide malique actif; acides succinique et tartronique inactifs, dérivés de l'acide tartrique actif; cymol inactif, dérivé du camphre actif, etc.

Comme exemples du cas opposé, on peut citer:

Acide malique actif, dérivé de l'acide tartrique actif;

Acide tartrique actif, dérivé de la lactose active;

Glycoses actives, dérivées de glycosides actives;

Nitromannite active, dérivée de la mannite active;

Acide camphorique et borneol actifs, dérivés du camphre actif;

Sels et éthers actifs, dérivés d'acides actifs, etc.

c. *Si, inversement, on fait une liste de combinaisons qui renferment un atome de carbone asymétrique, on reconnaît immédiatement que dans un assez grand nombre de cas la réciproque de (a) ne se vérifie pas, c'est-à-dirc, que les combinaisons où se trouve un pareil atome ne paraissent pas toutes agir sur la lumière polarisée.* Ce fait peut être attribué à l'une des trois causes suivantes:

1. A ce que ces combinaisons consistent en un mélange inactif de deux isomères à pouvoir optique égal mais opposé, lesquels isomères, par suite de la grande analogie de leurs autres propriétés, sont difficiles à séparer, et n'ont pas été isolés jusqu'ici.

2. A ce que l'étude du pouvoir rotatoire est souvent demeurée imparfaite, soit à cause de la faible solubilité de beaucoup de

combinaisons, soit à cause de la petitesse du pouvoir rotatoire spécifique, comme cela est le cas, par exemple, pour la mannite.

3. A ce que la condition „carbone asymétrique'' ne suffit pas pour l'activité optique, celle-ci ne dépendant pas seulement de la diversité mutuelle des groupes qui adhèrent à un atome de carbone, mais aussi de leur nature propre.

Quoi qu'il en soit de cette explication, les faits remarqués n'en établissent pas moins, entre la constitution et le pouvoir actif, un lien de probabilité, qui, à défaut d'arguments plus forts, peut servir dans les circonstances suivantes:

1. Une combinaison qui dévie la lumière polarisée contient probablement un atome de carbone asymétrique; il en résulte, dans le cas où la constitution reste provisoirement non déterminée, un motif pour accorder la préférence à une certaine formule, ce qui permet, entre autres, de faire un choix dans les tentatives de synthèse.

Exemple. L'alcool amylique actif, avec un atome de carbone asymétrique, ne peut avoir pour formule que

$$\begin{matrix} CH_3 \\ C_2H_5 \end{matrix} CH.CH_2.OH,$$

idée qui a été émise également, quoique pour une raison toute différente, par M. Erlenmeyer.

2. Une combinaison qui jusqu'à présent n'a pas d'isomère physique agissant sur la lumière polarisée peut-être regardée, avec un certain degré de probabilité, comme ne renfermant pas d'atome de carbone asymétrique. Cette remarque peutêtre utilisée de la même façon que la précédente; c'est ainsi que l'acide citrique, en tenant compte de la formation de l'acide aconitique et de l'acide tricarballylique, ne peut être constitué que suivant l'une de ces deux formules:

$$\begin{matrix} C.H.OH.COOH \\ CH.COOH. \\ CH_2.COOH. \end{matrix} \quad \text{ou} \quad \begin{matrix} CH_2.COOH \\ C.OH.COOH \\ CH_2.COOH \end{matrix}$$

L'absence du pouvoir optique conduit à préférer la seconde de ces formules, attendu que la première contient un atome de carbone

asymétrique; j'espère d'après cela obtenir l'acide en question par la méthode de MM. Frankland et Duppa, au moyen des éthers oxalique et iodo-acétique agissant en présence du zinc.

3. Enfin on peut assigner, avec quelque chance de succès, les limites du champ des combinaisons actives, c'est-à-dire indiquer les combinaisons les plus simples douées du pouvoir optique.

L'alcool monoatomique actif le plus simple sera par exemple:

$$CH_3 . CH. OH. CH_2 . CH_3 .$$

L'acide monoatomique actif le plus simple:

$$CH_3 . CH. COOH. CH_2 . CH_3 .$$

L'alcool diatomique actif le plus simple:

$$CH_3 . CH. OH. CH_2 . OH.$$

L'hydrocarbure saturé actif le plus simple:

$$\begin{matrix} CH_3 \\ C_2H_5 \end{matrix} CH. C_3 . H_7 .$$

L'hydrocarbure aromatique actif le plus simple:

$$\begin{matrix} CH_3 \\ C_2H_5 \end{matrix} CH. C_6 H_5 , \text{ etc.}$$

En même temps, il est probable que quelques séries resteront exclues de toute participation au pouvoir rotatoire, comme, par exemple,

Les hydrocarbures normaux $CH_3 (CH_2)_n CH_3$
Les alcools normaux $CH_3 (CH_2)_n CH_2 . OH$
Les acides normaux $CH_3 (CH_2)_n COOH$, etc.

Une circonstance plus remarquable, toutefois, c'est que, d'après la remarque présentée ci-dessus, C H Br Cl I se laissera probablement scinder en deux isomères agissant sur la lumière polarisée.

II. Relation entre le carbone asymétrique et le nombre d'isomères.

Si le carbone asymétrique ne rend peut-être pas optiquement actives toutes les combinaisons dans lesquelles il entre, il doit pourtant, d'après l'hypothèse fondamentale, donner lieu à une isomérie, se manifestant de l'une ou de l'autre manière; par suite

de cette isomérie, le nombre des isomères, tel qu'il est prévu par les formules de structure actuelles, sera doublé dans le cas de l'existence d'un seul atome de carbone asymétrique, et augmentera progressivement s'il y a plusieurs de ces atomes.

Je pense, en effet, qu'on peut signaler des combinaisons présentant l'anomalie apparente que M. Wislicenus a désignée sous le nom d'isomérie géométrique, marquant par là l'insuffisance des notions courantes, sans toutefois formuler une hypothèse mieux adaptée aux faits.

Parmi ces combinaisons je crois pouvoir citer:

Les acides éthylidéno-lactiques, qui renferment un seul atome de carbone asymétrique;

Les acides tartriques, les acides dibromo- et isodibromosuccinique, les acides citra-, ita- et mésabromopyrotartrique, les acides citra-, ita- et mésamalique, la mannite et ses isomères, la dextrose et ses isomères, peut-être aussi l'essence de térébenthine, les sucres, etc. avec leurs isomères, — toutes combinaisons dans lesquelles plusieurs atomes de carbone asymétriques concourent à augmenter le nombre des isomères.

Seconde partie. Jusqu'à présent, nous n'avons examiné l'influence de l'hypothèse en question que sur des combinaisons où (à part quelques corps aromatiques) les atomes de carbone sont liés entre eux par une seule affinité; il faut maintenant considérer aussi:

l'Influence du nouveau mode de représentation sur les combinaisons à atomes de carbone doublement liés.

Dans le cas d'une liaison double, l'image consiste en deux tétraèdres qui se touchent par une arête (fig. IX); A et B représentent les liaisons des deux atomes de carbone, R_1, R_2, R_3 et R_4 les groupes univalents par lesquels sont saturées les autres affinités, restées libres, de ces atomes de carbone.

Si R_1, R_2, R_3 et R_4 sont les mêmes groupes, on ne peut construire par la pensée qu'une figure unique, et il en est de même lorqu'il y a seulement identité entre R_1 et R_2, ou entre R_3, et R_4;

mais si, à la fois, R_1 diffère de R_2 et R_3 de R_4, — ce qui d'ailleurs n'empêche pas que R_1 et R_3, R_2 et R_4 puissent être égaux, — deux solides se laissent construire, représentés par les figures IX et X, et dont la différence tient à la situation relative des groupes R_1 et R_2 par rapport à R_3 et R_4; la dissemblance de ces figures, dont le nombre se réduit à deux, annonce un cas d'isomérie, qui n'est pas impliqué dans le mode ordinaire de représentation.

En consultant les faits, je crois avoir rencontré parmi les combinaisons organiques des cas qui peuvent être interprétés de cette manière :

1. Acides maléique et fumarique, dont l'isomérie n'a pas encore trouvé d'explication plausible (je regarde aussi comme inacceptable l'hypothèse d'un carbone bivalent, attendu que celui-ci, sans doublement de la molécule, peut exister seulement, pour des raisons particulières, chez l'oxyde de carbone et les carbylamines). Ces acides réalisent, en effet, la condition indiquée ci-dessus: *deux atomes de carbone, à liaison double, portent chacun deux groupes univalents qui diffèrent entre eux, H et COOH.*

2. Acides bromomaléique et isobromomaléique; l'explication de cette isomérie est tout à fait la même: on n'a qu'à remplacer, dans les acides fumarique et maléique, un H par un Br.

3. Acides citra-, ita- et mésaconique. En adoptant

$$CH_3.CH.COOH.CH_2.COOH$$

pour l'acide pyrotartrique, il ne reste pour les acides en question que les formules

$$CH_2 = C.COOH.CH_2\ COOH,$$
$$CH_3.C.COCH = CH.COOH;$$

et si la dernière ne renfermait pas, conformément à la représentation que je propose, deux isomères (probablement les acides itaconique et citraconique), aucune explicatiou plausible ne pourrait être donnée.

4. Acides crotoniques solide et liquide. La constitution de

l'acide crotonique solide est indubitablement, d'après M. Kekulé,

$$CH_3.CH = CH.COOH;$$

pour l'acide crotonique liquide il ne reste donc (ainsi raisonnait-on) que la formule

$$CH_2 = CH.CH_2.COOH,$$

capable d'expliquer la non-identité.

Mais si l'on prend en considération les faits suivants, relatifs à cet acide:

a. Fondu avec KOH il ne donne, selon M. M. Hemilian, que de l'acide acétique;

b. Les agents d'oxydation le convertissent, d'après le même chimiste, en acide acétique, acide oxalique et, indirectement, aux dépens de ce dernier, en acide carbonique;

c. Vers 170°—180° il se transforme, toujours selon M. Hemilian, en acide crotonique solide;

si l'on tient compte de ces faits, dis-je, rien ne plaide pour la formule $CH_2 = CH.CH_2.COOH$, et tout pour un isomère $CH_3.CH = CH.COOH$, exactement comme dans le cas des acides fumarique et maléique. Effectivement, la formule $CH_3.CH = CH.COOH$ satisfait aux conditions exigées par mon hypothèse pour la possibilité de deux isomères: deux atomes de carbone à liaison double, dont les affinités libres sont saturées chacune par deux groupes univalents différents, lesquels sont ici H et CH_3, H et COOH.

5. Les acides chlorocrotonique et chlorisocrotonique de Geuther, dont l'isomérie était exprimée jusqu'ici par

$$CH_2 = CH.Cl.CH_2.COOH$$

et

$$CH_3.CCl = CH.COOH,$$

donnent suivant M. Froelich, quand on les traite par l'hydrogène à l'état naissant, les acides mentionnés au numéro 4, de sorte que leur constitution commune devient

$$CH_3.CH.CCl = CH.COOH$$

et que leur cas d'isomérie fortifie par conséquent mon hypothèse.

TROISIÈME PARTIE. Il reste maintenant encore à parler des atomes de carbone à liaison triple, tels que ceux de l'acétylène. La liaison est alors représentée par deux tétraèdres coïncidant par trois de leurs sommets, c'est-à-dire, par une de leurs faces (fig. XI): A C B est la liaison triple, R_1 et R_2 sont les groupes univalents par lesquels sont satisfaites les deux affinités restantes du carbone. La nouvelle hypothèse ne conduit ici à aucune discordance avec les vues généralement adoptées.

En terminant, je crois pouvoir faire observer que:

1. La nouvelle hypothèse ne laisse inexpliqué rien de ce qui est clairement représenté par la conception ordinaire.

2. Certaines propriétés et isoméries, que la théorie courante n'éclaircit pas, reçoivent quelque jour de l'hypothèse proposée.

3. Enfin, ma remarque concernant les combinaisons qui sont actives à l'état dissous, c'est-à-dire, concernant les molécules actives, se rattache aux vues exposées par M. Rammelsberg sur les cristaux actifs. Ce savant, en effet, étendant les observations de Herschell et de M. Pasteur, soutient que la propriété d'agir à l'état solide sur le plan de polarisation (par conséquent, aussi bien la condition active de cristaux composés de molécules inactives, que la condition inactive de cristaux composés de molécules actives) coïncide avec l'apparition de deux formes cristallines, qui ne montrent pas une identité complète, mais qui sont l'image spéculaire l'une de l'autre. Il est manifeste qu'il s'agit ici d'un arrangement des molécules dans le cristal actif, entièrement analogue à l'arrangement asymétrique des groupes d'atomes dans la molécule active, selon mon hypothèse; arrangement qui a pour effet que ni les cristaux actifs énumérés par M. Rammelsberg, ni les molécules actives représentées d'une manière générale dans les figures VII et VIII, ne possèdent de plan de symétrie.

UTRECHT, 5 Septembre 1874.

SUR

LES ESPÈCES INSULINDIENNES DE LA FAMILLE DES NANDOÏDES,

(avec trois figures sur Planche VIII)

PAR

P. BLEEKER.

La famille des Nandoïdes, telle que je l'ai établie, ne se compose que des genres Nandus CV., Badis Blkr et Catopra Blkr. Depuis, M. Günther, adoptant la famille, en a élargi les limites en y réunissant les genres Plesiops Cuv. et Trachinops Günth., et même le genre Acharnes M. Tr. Pour ce qui regarde les Plesiops et les Trachinops, ce sont de vrais Pseudochromidoïdes, et le genre Acharnes a été prouvé n'être pas distinct du genre Cichla.

La famille des Nandoïdes appartient à la grande division des Perches, où elle trouve sa place naturelle entre le groupe des Centrarchini des Percoïdes et les familles des Osphroménoïdes et des Polycentroïdes. D'un autre côté, elle est voisine aussi des Pseudochromidoïdes et des Cichloïdes, et ses représentants rappellent, par leur physionomie générale, plusieurs genres des quatre familles qui viennent d'être nommées. Elle est aisément à distinguer de toutes ces familles par la dentition de la bouche interne. Elle diffère, en outre, des Percoïdes par la ligne latérale interrompue, des Osphroménoïdes par l'absence d'appendices labyrinthiformes aux branchies,

des Pseudochromidoïdes par l'absence de pseudobranchies, et des Cichloïdes par ses doubles narines de chaque côté et par la conformation des os pharyngiens inférieurs.

La diagnose de la famille est à formuler comme suit:

NANDOIDEI.

Percoidei corpore oblongo compresso squamis ctenoideis magnis vel mediocribus vestito; capite superne ossibusque opercularibus squamato; naribus utroque latere 2; ore protractili; dentibus maxillis, vomerinis, palatinis, sphenoideis, pharyngealibus; ossibus pharyngealibus inferioribus oblongis gracilibus non unitis; branchiis simplicibus non appendiculatis; pseudobranchiis nullis; linea laterali interrupta; pinnis dorsali unica spinis 13 ad 17 et radiis 7 ad 17, pectoralibus et caudali rotundatis, ventralibus sub basi pectoralium insertis spina unica et radiis 5 anterioribus 2 ceteris longioribus, anali brevi spinis 3 vel 4 et radiis 5 ad 9, caudali radiis divisis 12; aperturis branchialibus externis sub gula continuis. B. 6.

L'exposé suivant résume les principaux caractères des trois genres de la famille.

1. Membrane interbranchiale étroite, profondément échancrée et sans écailles. Opercule à une seule épine. A. 3/5 à 3/7.
   a. Bouche large. Mâchoire supérieure fort protractile, à branche intermaxillaire montante s'étendant jusqu'à l'occiput. Dents linguales. Préopercule dentelé. Dorsale à 13 ou 14 épines et à 11 jusqu'à 13 rayons.

   Nandus Cuv. = Bedula Gr.

   b. Bouche petite. Mâchoire supérieure médiocrement protractile, à branche intermaxillaire montante très-courte. Point de dents linguales. Préopercule lisse. Dorsale à 14 jusqu'à 17 épines et à 7 ou 8 rayons.

   Badis Blkr

2. Membrane interbranchiale large, peu ou non échancrée et densement couverte d'écailles. Opercule à 2 épines. A. 3/8 ou 3/9 ou 4/8.
   a. Fente de la bouche médiocre. Mâchoire supérieure à branche intermaxillaire montante courte. Dents sphénoïdes et linguales granuleuses. Dorsale à 13 jusqu'à 16 épines et à 11 jusqu'à 17 rayons.

Catopra Blkr = Pristolepis Jerd. ? = Paranandus Day.

On ne connaît de toute la famille que neuf ou dix espèces, deux de Nandus, deux de Badis et les autres de Catopra; mais seulement trois de ces espèces, savoir une de Nandus et deux de Catopra, ont été trouvées dans l'Inde archipélagique, où elles sont limitées aux eaux douces des îles de la Sonde.

NANDUS CV.

Dentes sphenoidei et linguales in vittam gracilem dispositi. Maxilla superior maxime protractilis ramo intermaxillari adscendente longissimo verticem attingente. Rictus magnus. Praeoperculum denticulatum. Operculum spina unica. Membrana interbranchialis profunde incisa gracilis alepidota. Linea lateralis basi pinnae caudalis desinens. Squamae inguinales elongatae nullae. Isthmus interventralis squama elongata composita. Pinnae; dorsalis spinis 13 vel 14 et radiis 11 ad 13, analis spinis 3 et radiis 5 ad 7.

Rem. On ne connaît jusqu'ici que deux espèces de Nandus, l'une du continent indien et l'autre des îles de la Sonde. Ces deux espèces sont fort distinctes l'une de l'autre, le Nandus marmoratus, c'est-à-dire l'espèce du continent de l'Inde, ayant les écailles beaucoup plus nombreuses (plus petites), la tête plus pointue, la mâchoire inférieure notablement plus longue que la supérieure,

une épine de moins à la dorsale, etc. — M. Günther cite le Nandus marmoratus comme habitant aussi les Moluques, mais cette indication, fondée seulement sur un individu provenant d'un marchand naturaliste, ne mérite point de confiance tant qu'il n'a pas été constaté, par l'observation directe, que les Moluques possèdent en effet de ces poissons, qu'on n'a trouvés jusqu'ici que dans les fleuves des îles de la Sonde et de l'Asie méridionale.

Les caractères de l'espèce de la Sonde se rendent en peu de mots:

I. Corps à 13 jusqu'à 35 rangées transversales d'écailles. 14 Epines dorsales.

NANDUS NEBULOSUS Blkr, Bijdr. ichth. Biliton, Nat. Tijdschr. Ned. Ind. III p. 92; Günth., Catal. Fish. III p. 368. — Fig. 1.

Nand. corpore oblongo compresso, altitudine 3 circ. in ejus longitudine, latitudine 2 ad 2 et paulo in ejus altitudine; capite acuto 3¼ ad 3½ in longitudine corporis; altitudine capitis 1 ad 1 et paulo, latitudine capitis 1¾ ad 2 fere in ejus longitudine; oculis diametro 3 ad 3½ in longitudine capitis, diametro ½ ad ⅔ distantibus; linea rostro-frontali rectiuscula; osse suborbitali edentulo vel dentibus minimis scabriusculo; naribus distantibus posterioribus orbitae subcontiguis patulis, anterioribus parum conspicuis membrana elevata claudendis; maxilla superiore postice alepidota, maxilla inferiore vix breviore, sub oculi margine posteriore desinente, maxime protractili, ramo intermaxillari adscendente verticem attingente; dentibus maxillis parvis aequalibus; dentibus vomerinis, sphenoideis lingualibusque in vittam gracilem, palatinis et pterygoideis utroque latere in vittas 3 graciles inaequales dispositis; dentibus pharyngealibus parvis acutis; ossibus pharyngealibus inferioribus oblongis duplo circ. longioribus quam latis, parte anteriore tantum subcontiguis; praeoperculo obtuse rotundato ubique squamato squamis ante limbum in series 7 circ. transversas dispositis, margine libero angulo praesertim leviter denticulato; spina operculari mediocri; linea

laterali sub media vel posteriore parte dorsalis radiosae interrupta; squamis corpore angulum aperturae branchialis superiorem inter et basin pinnae caudalis supra lineam lateralem in series 33 ad 35, infra lineam lateralem in series 31 vel 32 tranversas dispositis; squamis 16 in serie transversali basin ventralis inter et dorsalem quarum 4 vel 3½ lineam lateralem inter et spinas dorsales medias; pinna dorsali spinis validis 3ª 4a et 5a ceteris vulgo longioribus 3 ad 4 in altitudine corporis, parte radiosa parte spinosa multo altiore obtuse rotundata basi squamata; pectoralibus obtuse rotundatis et ventralibus acutiusculis capite absque rostro brevioribus; anali spinis validis 2ª ceteris longiore oculo non ad paulo longiore, parte radiosa basi squamata dorsali radiosa non vel vix humiliore acutiuscule vel obtusiuscule rotundata; caudali obtusa rotundata capite absque rostro non ad paulo breviore; colore corpore superne fuscescente–viridi, lateribus et inferne aurantiaco-viridi; iride aurea fusco tincta; corpore fasciis transversis diffusis-fuscis; capite corporeque insuper maculis sparsis fuscis; pinnis aurantiacis, dorsali parte spinosa fuscescente, dorsali radiosa guttulis fuscis in series longitudinales,-ventralibus et caudali guttulis fuscis in series transversas dispositis.

B. 6. D. 14/11 ad 14/13. P. 2/15 ad 2/17. V. 1/5. A. 3/5 ad 3/7. C. 1/12/1 et lat. brev.

Syn. *Bedula nebulosus* Gr. Hardw., Illustr. Ind. Zool. II Pisc. tab. 1 fig. 2.

Hab. Sumatra (Lahat); Singapura; Bangka (Toboali, Marawang); Biliton (Tjirutjup); Borneo (Pamangkat, Baugkayan). in fluviis.

Longitudo 14 speciminum 65‴ ad 135‴.

Rem. Le Nandus des îles de la Sonde est fort distinct de celui du continent indien (Nandus marmoratus Cuv.). Sur un individu de cette dernière espèce je compte 50 rangées transversales d'écailles au-dessus de la ligne latérale, et 22 ou 23 rangées longitudinales entre la ventrale et la dorsale, dont 6 entre la ligne latérale et la dorsale. Les écailles préoperculaires aussi y sont plus nom-

breuses; puis encore elle a la tête plus pointue, la mâchoire inférieure notablement plus longue que la supérieure, la mâchoire supérieure squammeuse, une épine de moins à la dorsale, etc.

CATROPA Blkr = Pristolepis Jerd.? = Paranandus Day.

Dentes sphenoidei et linguales obtusi vel graniformes in thurmam magnam latam dispositi. Maxilla superior ramo intermaxillari adscendente brevi. Rictus mediocris. Praeoperculum denticulatum. Operculum spinis 2. Membrana interbranchialis vix emarginata lata dense squamata. Lineae lateralis pars posterior pinna caudali continua. Inguines et isthmus interventralis squama elongata. Pinnae dorsalis spinis 13 ad 16 et radiis 11 ad 17, analis spinis 3 vel 4 et radiis 8 vel 9.

Rem. Le genre Catopra est éminemment distinct par les larges lames dentaires du palais et de la langue, lames occupant les os sphénoïdes et basi-hyaux, et par la large membrane interbrachiale densément couverte d'écailles. — Bien que je ne retrouve pas ces caractères dans la description du Pristolepis marginatus Jerd., dont il est dit que les dents ptérygoïdiennes et linguales sont en velours, il se pourrait bien que cette espèce fût un vrai Catopra. En ce cas, le nom de Pristolepis, datant de 1848, aurait droit de priorité sur celui que j'ai proposé trois ans plus tard. M. Day, depuis, a proposé le nom de Paranandus pour une espèce qu'il a décrite et figurée sous le nom de Nandus malabaricus (Fish. Malab. p. 130 tab. 8). Il est vrai que, d'après ma première diagnose du genre Catopra, où il entrait comme caractère la phrase „*os suborbitale denticulatum*", l'espèce de M. Day ne serait point un vrai Catopra, mais plutôt un Nandus; mais le caractère de sousorbitaires dentelés ayant été prouvé n'être point générique, et le Nandus malabaricus Day, dont j'ai un specimen devant moi, présentant du reste tous les caractères de Catopra, même les larges lames à dents granuleuses de l'intérieur de la bouche, M. Günther

a eu raison d'indiquer cette espèce comme un vrai Catopra [1])

Les deux espèces insulindiennes de Catopra se font aisément reconnaître par les caractères suivants :

I Sousorbitaire lisse. Trois épines anales. Joues à six rangées longitudinales d'écailles.

A. Cinq ($4\frac{1}{2}$) rangées d'écailles entre la ligne latérale et les épines dorsales médianes.

1. *Catopra fasciata* Blkr.

B. Quatre ($3\frac{1}{2}$) rangées d'écailles entre la ligne latérale et les épines dorsales médianes.

2. *Catopra Grootii* Blkr.

CATOPRA FASCIATA Blkr, Derde bijdrage ichthyol. Borneo, Nat. T. Nederl. Ind. II p. 65; Günth., Catal. Fish. III p. 368. — Fig. 2.

Catopra corpore oblongo cempresso, altitudine $2\frac{2}{5}$ ad $2\frac{3}{4}$ in ejus longitudine, latitudine $2\frac{1}{3}$ ad 3 in ejus altitudine; capite obtuso $3\frac{1}{2}$ ad 4 fere in longitudine corporis, aeque alto ac longo ad paulo altiore quam longo; latitudine capitis $1\frac{1}{2}$ ad 2 in ejus longitudine; oculis diametro $3\frac{1}{2}$ ad $4\frac{1}{2}$ in longitudine capitis, diametro 1 ad $1\frac{1}{2}$ distantibus; linea rostro-frontali junioribus rectiuscula vel concaviuscula, aetate provectis interdum convexiuscula; rostro obtuso oculo breviore, alepidoto; naribus distantibus, posterioribus orbitae approximatis patulis, anterioribus brevitubulatis; dentibus suborbitalibus parvis parum conspicuis; maxillis subaequalibus, superiore sub oculi dimidio anteriore desinente; dentibus maxillis parvis acutis, serie externa intermaxillaribus pracsertim ceteris majoribus subaequalibus; dentibus vomerinis, palatinis et pharyngealibus parvis acutis, vomerinis in thurmulam

---

[1]) Cette espèce est caractérisée, outre le sousorbitaire lisse, par les trois rangées d'écailles au-dessus de la ligne latérale et par les trois épines anales.

oblongo ovalem transversam, palatinis utroque latere in vittam sat gracilem postice quam antice latiorem dispositis; dentibus lingualibus et sphenoideis obtusis graniformibus, lingualibus in thurmam latam lagenaeformem antice acutam postice subtruncatam multo longiorem quam latam, sphenoideis in thurmam duplo circ. longiorem quam latam quadratiusculam vel dimidio posteriore quadratiusculam dimidio anteriore trigonam apice acutiusculam dispositis; ossibus pharyngealibus inferioribus sat gracilibus plus duplo longioribus quam latis parte anteriore tantum subcontiguis; praeoperculo subrectangulo angulo rotundato leviter denticulato; squamis genis in series 6 longitudinales dispositis, serie inferiore limbum tegente; suboperculo inferne et interoperculo superne margine libero vulgo scabriusculis; operculo spinis 2 mediocribus pungentibus; mento et cute interbranchiali vix emarginata dense squamatis; squamis corpore angulum aperturae branchialis superiorem inter et basin pinnae caudalis supra lineam lateralem in series 30 circ., infra lineam lateralem in series 27 ou 28 transversas dispositis; squamis 16 in serie transversa basin pinnae ventralis inter et dorsalem quarum 5 (4½) lineam lateralem inter et spinas dorsales medias; linea laterali singulis squamis tubulo simplice notata, sub dorsalis radiosae parte posteriore interrupta, cauda ante partem abruptam reincipiente, basi caudalis deorsum curvata caudalem intrante et usque ad caudalis marginem posteriore producta; pinna dorsali spinis validis mediis ceteris longioribus 3 ad 4 in altitudine corporis, parte radiosa dimidio basali squamosa parte spinosa multo altiore obtuse vel acutiuscule rotundata; pectoralibus obtuse vel obtusciuscule rotundatis ventralibus acutis vel acute rotundatis paulo longioribus capite paulo brevioribus; inguinibus squama lanceolata libera mediocri; anali spinis validis 2ª ceteris majore oculo multo ad duplo longiore, parte radiosa dimidio basali squamosa, dorsali radiosa non ad paulo humiliore, obtuse vel obtusiuscule rotundata; caudali obtusa convexa vel rotundata capite non ad paulo breviore; colore corpore olivaceo vel fuscescente-olivaceo, inferne dilutiore; iride flava vel aurea; pinnis flavescentibus vel aurantiacis; *juvenilibus*

genis vittis 3 ad 5 longitudinalibus curvatis argenteis et corpore fasciis 8 ad 13 transversis irregularibus fuscis.

B. 6. D. 13/14 ad 13/17 vel 14/16 vel 14/17. P. 2/14. V. 1/5. A. 3/8 vel 3/9. C. 1/12/1 et lat. brev.

Syn. *Catopra nandoides* Blkr, Nieuwe bijdr. Perc. Sclerop. etc. Nat. T. Ned. Ind. II p. 172; Günth., Cat. Fish. III p. 368; an et Day, Fish. Burma, Proc. Zool. Soc. 1869 p. 615?

Catopra siamensis Günth., N. Rept. Fish. Brit. Mus, Proc. Zool. Soc. 1862 p. 191, tab. 26 fig. a.

Katoprak Mal. Bat.

Hab. Sumatra (Lahat, Palembang, Telokbetong, Benculen; Bangka (Marawang); Java (Batavia); Borneo (Pamangkat, Montrado, Bankayan, Bandjermasin, Pengaron); in fluviis.

Longitudo 12 speciminum 101‴ ad 210‴.

Rem. Les descriptions antérieures du Catopra fasciata et nandoides ont été prises sur des individus uniques, et il s'y est glissé aussi une erreur d'impression par rapport au nombre des écailles sur une rangée transversale du Catopra fasciata, nombre qui doit être lu 16 au lieu de 13. Une série complète d'individus m'a permis de constater que ces deux espèces n'en font qu'une seule, l'individu que j'ai décrit sous le nom de Catopra nandoides, et qui provenait des eaux douces de Batavia, ne se distinguant en rien des nombreux individus du Catopra fasciata de Sumatra, de Bangka et de Bornéo, si ce n'est par la présence d'une épine de plus à la dorsale. Les bandes transversales du corps et les bandelettes nacrées des joues, en général nettement dessinées chez les jeunes, s'effacent plus ou moins dans l'adolescence avancée et ne laissent plus de traces chez les adultes. Je ne doute point que le Catopra siamensis Günth. soit de l'espèce actuelle et que par conséquent le fasciata habite aussi les eaux douces de Siam. C'est une espèce d'eau douce de plus que Siam a en commun avec les îles de la Sonde. Si le Catopra nandioides de M. Day est en effet de la même espèce, elle habite aussi le Burmah.

CATOPRA GROOTII Blkr, Bijdrage ichth. Biliton, Nat. T. Ned. Ind. III p. 90; Günth., Cat. Fish. III p. 369. — Fig. 3.

Catopr. corpore oblongo compresso, altitudine 2⅔ ad 2¾ in ejus longitudine, latitudine 2¼ ad 2½ in ejus altitudine; capite obtuso 3⅗ ad 4 in longitudine corporis, aeque alto ac longo ad paulo altiore quam longo; latitudine capitis 1¾ ad 2 in ejus longitudine; oculis diametro 3 ad 4 in longitudine capitis, diametro 1 ad 1⅓ distantibus; linea rostro-frontali rectiuscula vel convexiuscula; rostro obtuso oculo breviore, alepidoto; naribus distantibus posterioribus orbitae approximatis patulis, anterioribus brevitubulatis; dentibus suborbitalibus parvis parum conspicuis; maxillis subaequalibus, superiore sub oculi dimidio anteriore desinente; dentibus maxillis parvis acutis serie externa intermaxillaribus praesertim ceteris majoribus subaequalibus; dentibus vomerinis, palatinis et pharyngealibus parvis acutis, vomerinis in thurmulam oblongam transversam, palatinis utroque latere in vittam sat gracilem postice quam antice non latiorem dispositis; dentibus lingualibus et sphenoïdeis obtusis graniformibus, lingualibus in thurmam latam lagenaeformem antice acutam postice subtruncatam longiorem quam latam,-sphenoideis in thurmam duplo circiter longiorem quam latam postice truncatam antice acutam vel acutiusculam dispositis; ossibus pharyngealibus inferioribus sat gracilibus plus duplo longioribus quam latis parte anteriore tantum subcontiguis; praeoperculo subrectangulo angulo rotundato leviter denticulato; squamis genis in series 6 longitudinales dispositis, serie inferiore limbum tegente; suboperculo inferne et interoperculo superne margine libero scabriusculis; operculo spinis 2 mediocribus pungentibus; mento et cute interbranchiali vix emarginata dense squamatis; squamis corpore angulum aperturae branchiales superiorem inter et basin pinnae caudalis supra lineam lateralem in series 28, infra lineam lateralem in series 26 vel 27 transversas dispositis; squamis 15 in serie transversa basin pinnae ventralis inter et dorsalem quarum 4 (3½) lineam lateralem inter et spinas dorsales medias; linea laterali singulis squamis tubulo simplice notata, sub dorsalis radiosae parte posteriore interrupta,

cauda ante partem abruptam reincipiente, basi caudalis deorsum curvata, caudalem intrante et usque ad caudalis marginem posteriorem producta; pinna dorsali spinis validis mediis ceteris longioribus 3 ad 3½ in altitudine corporis, parte radiosa dimidio basali squamosa parte spinosa multo altiore obtuse vel acutiuscule rotundata; pectoralibus obtuse vel obtusiuscule rotundatis ventralibus acutis vel acute rotundatis paulo longioribus capite paulo brevioribus; inguinibus squama lanceolata libera mediocri; anali spinis validis 2a ceteris majore oculo multo ad duplo fere longiore, parte radiosa dimidio basali squamosa, dorsali radiosa non ad paulo humiliore, obtuse vel acutiuscule rotundata; caudali obtusa convexa vel rotundata capite non ad paulo breviore; colore corpore olivaceo vel fuscescente-olivaceo inferne dilutiore; iride flava vel aurea; pinnis flavescentibus vel aurantiacis; juvenilibus corpore fasciis 8 ad 10 transversis irregularibus fuscis.

B. 6. D. 13/15 ad 13/17. P. 2/12 ad 2/14. V. 1/5. A. 3/8 vel 3/9. C. 1/12/1 et lat. brev.

Hab. Bangka (Toboali); Biliton (Tjirutjup); Borneo (Bankayan), in fluviis.

Longitudo 13 speciminum 85‴ ad 184‴.

Rem. Les treize individus que je possède de cette espèce ne se distinguent bien essentiellement du Catopra fasciata que par une rangée longitudinale d'écailles de moins entre la ligne latérale et les épines médianes du dos. Les bandelettes transversales existent ici aussi dans les jeunes seulement, mais sur aucun de mes individus, pas même sur les plus petits, je ne vois les bandelettes nacrées qui sont si bien accusées sur les joues des jeunes fasciata. Le Grootii a du reste les yeux généralement plus grands, le profil plus convexe et le corps plus épais que le fasciata, différences qui s'observent assez nettement en comparant des individus des deux espèces d'égale longueur, surtout ceux de l'adolescence avancée.

La Haye, Septembre 1873.

SUR

LES ESPÈCES INSULINDIENNES DE LA FAMILLE DES

OPISTHOGNATHOÏDES,

(avec quatre figures sur Planche IX.)

PAR

P. BLEEKER.

La petite famille des Opisthognathoïdes, intermédiaire quant à ses affinités, entre les Blennioïdes et les Pseudochromidoïdes, se distingue nettement par la combinaison des caractères de ventrales jugulaires bien développées et à cinq rayons mous, dont les deux antérieurs sont simples épaissis et allongés, d'une tête dénuée d'écailles, d'un palais parfaitement lisse, d'écailles cycloïdes, d'épines très-grêles et flexibles à la dorsale et à l'anale, d'une anale égalant la dorsale molle et d'une caudale à douze rayons divisés.

Ses caractères naturels et distinctifs peuvent être formulés comme il suit:

Pisces ossei acanthopterygii jugulares, corpore subelongato vel elongato compresso; capite obtuso alepidoto, rictu magno, maxillis dentatis post oculum productis, palato edentulo, naribus utroque latere duplicibus, ossibus suborbitalibus non cum praeoperculo articulatis, ossibus opercularibus edentulis; ossibus pharyngealibus inferioribus non unitis; branchiis apparatu labyrinthiformi nullo; pseudobran-

chiis; aperturis branchialibus sub gula continuis; vesica natatoria; squamis corpore cycloideis parvis; linea laterali tumida sub dorsali radiosa desinente; pinnis spinis gracilibus flexilibus, dorsali unica longa indivisa partibus spinosa et radiosa subaequilongis, pectoralibus flabelliformibus, ventralibus radiis 2 anterioribus incrassatis simplicibus elongatis, anali dorsali radiosae subaequali, caudali integra radiis divisis 12. B. 6.

Les espèces connues de la famille ne sont qu'au nombre de dix ou de onze, dont quatre habitent l'Insulinde. On y reconnaît deux types d'une valeur générique, l'un caractérisé par un maxillaire tronqué et sans appendice membraneux, et l'autre reconnaissable par un maxillaire prolongé jusqu'au-delà du bord préoperculaire et finissant en lame de sabre plus ou moins membraneuse. L'espèce type du genre Opisthognathus Cuv., l'Opisthognathus Sonneratii CV. représente le second genre. Pour le premier M. Gill a déjà proposé le nom de Gnathypops, qui mérite d'être conservé. Le genre Lonchopistus, proposé par le même auteur pour une espèce à mâchoires de Gnathypops mais à caudale lancéolée, me paraît devoir être rapporté au Gnathypops.

Les genres Opisthognathus et Gnathypops se composent d'espèces qui, elles aussi, représentent deux types, dans lesquels on verra probablement des genres ou des sousgenres dès que les espèces connues seront devenues plus nombreuses. Parmi les Opisthognathes proprement dits, il y a des espèces, - et parmi elles l'espèce type du genre, - où les écailles sont au nombre de plus de cent sur une rangée longitudinale, et l'espèce insulindienne de ce type présente le caractère remarquable d'un grand trou ovale dans la membrane qui unit le maxillaire au mandibulaire. D'autres espèces, au contraire, ne présentent qu'une soixantaine d'écailles sur une rangée longitudinale, et la membrane maxillo-mandibulaire est intègre et non perforée. La même différence d'écaillure se trouve dans les espèces de Gnathypops, où, par exemple, le papuensis a les écailles au nombre d'à peu près 120, tandis que dans le Rosenbergii il n'y en a qu'environ 70. Dans ces deux espèces le trou maxillo-mandibulaire n'existe pas.

Je possède quatre espèces d'Opisthognathoïdes de l'Inde archipélagique, dont voici les noms et les synonymes:

1. Opisthognathus Castelnaui Blkr = Opisthognathus Sonneratii Cuv? Blkr ol.
2. Opisthognathus solorensis Blkr.
3. Gnathypops papuensis Blkr = Opisthognathus papuensis Blkr.
4. „ Rosenbergii Blkr = Opisthognathus Rosenbergii Blkr.

Toutes ces espèces sont exclusivement insulindiennes. Des six ou sept autres espèces connues de la famille, une seule, l'Opisthognathus nigromarginatus Rüpp. (= Opisthognathus Sonneratii Cuv.) habite la Mer Rouge et les côtes de Zanzibar et de Mossambique, et les autres les côtes atlantiques de l'Amérique méridionale, les Antilles et le Golfe de Mexique. Ces espèces sont en partie des Opisthognathus (Opisthognathus megastoma Günth. ? = Opisthognathus macrognathus Poey?) et en partie des Gnathypops (Opisthognathus Cuvieri Val., Gnathypops maxillosus Gill, Gnathypops macrops Gill et Lonchopistus micrognathus Gill).

OPISTHOGNATUS Cuv.

Corpus elongatum. Dorsum antice et regio scapulo-thoracogularis squamis nullis. Maxilla superior postice ensiforme producta praeoperculi marginem posteriorem superans. Dentes maxillis pluriseriati acuti, serie externa fortiores. Pinnae dorsalis et analis alepidotae, dorsalis spinis flexilibus 11 ad 13 et radiis 13 ad 16, analis spinis flexilibus 2 et radiis 13 ad 16.

Les deux espèces insulindiennes sont parfaitement reconnaissables par les caractères suivants:

I Hauteur du corps 6 à 7 fois dans la longueur totale. D. 25 ou 26 (11/14 ou 11/15). A 16 ou 17 (2/14 ou 2/15).

a. Plus de cent écailles sur une rangée longitudinale. Mâchoire supérieure dépassant le bord postérieur de l'opercule. Membrane maxillo-mandibulaire percée d'un grand trou ovale. Base de la dorsale à huit taches brunes ou noirâtres.

1. *Opisthognathus Castelnaui* Blkr

b. Environ 65 écailles sur une rangée longitudinale. Mâchoire supérieure n'atteignant pas le bord postérieur de l'opercule. Membrane maxillo-mandibulaire sans trou. Une tache noirâtre sur les épines antérieures de la dorsale, suivie ordinairement d'une ou de deux taches oblongues de la même couleur.

2. *Opisthognathus solorensis* Blkr.

Opisthognathus Castelnaui Blkr, Derde bijdr. vischf. Singap. Nat. T. Ned. Ind. XX p. 450. — Fig. 4.

Opisthogn. corpore elongato compresso, altitudine 6½ ad 7 in ejus longitudine, latitudine 1 ad 1⅓ in ejus altitudine; capite obtuso valde convexo 4 ad 4¼ in longitudine corporis; altitudine capitis 1¾ ad 2,- latitudine capitis 2 circ. in ejus longitudine; oculis diametro 3½ ad 4 in longitudine capitis, diametro ⅓ circ. distantibus; regione interoculari concava; naribus margini oculi antero-inferiori approximatis, posterioribus rotundis patulis, anterioribus non tentaculatis; cute capite superne lateribusque verruculoso-rugosa; maxilla superiore paulo ante maxillam inferiorem prominente postice acuta ensiformi marginem operculi posteriorem superante, membrana os supramaxillare inter et inframaxillare apertura magna ovali; dentibus maxillis pharyngealibusque conicis acutis pluriseriatis, maxillis serie externa ceteris majoribus curvatis, intermaxillaribus anterioribus ceteris, inframaxillaribus mediis ceteris paulo majoribus; nucha, dorso antice regionibusque suprascapulari et thoraco-gulari alepidotis; squamis minimis regionem suprascapularem inter et basin pinnae caudalis in series 110 circ. transversas dispositis; squamis radios anales anteriores inter et dorsalem in series 28 circ. longitudinales dispositis quarum 4 circ. lineam lateralem inter et mediam dorsalem radiosam; linea laterali sub anteriore dimidio dorsalis radiosae abrupta tumida tubulis contiguis notata, media cauda inconspicua; pinna dorsali parte spinosa parte radiosa paulo breviore et non

vel vix humiliore corpore duplo circ. humiliore postice angulata vel obtusiuscule rotundata; pinnis pectoralibus obtuse rotundatis capite duplo circ. brevioribus; ventralibus radiis 2 anterioribus tumidis simplicibus capitis parte postoculari non vel vix brevioribus; anali forma et magnitudine dorsali radiosae subaequali; caudali obtusa rotundata capitis parte postoculari non vel vix longiore; colore corpore superne olivascente, inferne dilute roseo; iride flavescente; corpore fusco irregulariter striato vel nebulato; maxilla superiore postice facie externa et facie interna vittula vel macula oblonga flava nigricante limbata; pinnis roseis; dorsali basi maculis 8 vel 9 rotundiusculis subaequidistantibus nigricantibus vel profunde fuscis, dimidio superiore fuscescente frequenter ocellis roseis in seriem longitudinalem dispositis; ventralibus apicem versus, anali dimidio inferiore, caudali postice fuscescentibus.

B. 6. D. 11/14 P. 1/17 ad 1/19. V. 1/5. A. 2/14 vel 2/15. C. 1/12/1 et lat. brev.

Syn. *Opisthognathus Sonnerati* Cuv.? Blkr, Nieuwe bijdr. ichth. Celebes, Nat. T. Ned. Ind. II p. 221. (nec CV.).

Hab. Singapura; Bintang (Rio); Cocos (Novaselma); Celebes (Bulucomba); Batjan (Labuha); in mari.

Longitudo 4 speciminum 140‴ ad 200‴

Rem. J'ai confondu autrefois cette espèce, que je ne connaissais primitivement que par un individu mal conservé, avec l'Opisthognathus nigromarginatus Rüpp (O. Sonneratii Cuv.); mais elle s'en distingue par l'absence du grand ocelle noir cerclé de blanchâtre ou de jaunâtre, entre la quatrième et la huitième épine dorsale. En revanche le Castelnaui montre le long de la base de la nageoire dorsale une rangée de huit taches noires, dont la huitième se trouve sur les rayons postérieurs. Le nigromarginatus paraît aussi avoir le corps plus trapu et le prolongement en forme de sabre du maxillaire plus grêle.

Opisthognathus solorensis Blkr, Bijdrage ichthyol. Solor, Natuurk. T. Nederl. Ind. V p. 81; Günth., Cat. Fish. II p. 256. — Fig. 3.

Opisthogn. corpore elongato compresso, altitudine 6 ad 7 in ejus longitudine, latitudine 1¼ ad 1½ in ejus altitudine; capite obtuso valde convexo 4 ad 4⅓ in longitudine corporis; altitudine capitis 1¾ ad 2 fere, latitudine capitis 2 ad 2 et paulo in ejus longitudine; oculis diametro 4 circ. in longitudine capitis, diametro 1⅓ circ. distantibus; regione interoculari concava; naribus margini orbitae antero-inferiori approximatis, posterioribus rotundis patulis, anterioribus minimis non tentaculatis margine membranaceo claudendis; cute capitis superne, rostro lateribusque verruculoso-rugosa; maxilla superiore paulo ante maxillam inferiorem prominente capite paulo breviore postice oblique lanceolato-ensiformi apice flexili acute rotundato operculi marginem posteriorem non attingente; membrana os supramaxillare inter et inframaxillare foramine nullo; dentibus maxillis conicis acutis pluriseriatis, serie externa ceteris majoribus intermaxillaribus anterioribus tantum inframaxillaribus longioribus; dentibus pharyngealibus conicis ex parte acutis ex parte obtusiusculis; nucha, dorso sub dorsali spinosa regionibusque suprascapulo-postaxillari et gulo-thoracico-ventrali alepidotis; squamis cetero corpore parvis regionem postscapularem inter et basin pinnae caudalis in series 65 circ. transversas dispositis; squamis radios anales medios inter et dorsalem in series 24 circ. longitudinales dispositis, quarum 3 circ. lineam lateralem inter et pinnam dorsalem radiosam; linea laterali sub anteriore parte dorsalis radiosae abrupta, tumida, tubulis contiguis notata, cauda inconspicua; pinna dorsali parte spinosa parte radiosa non multo breviore, postice quam medio paulo altiore, parte radiosa postice parte spinosa sat multo altiore corpore non ad paulo humiliore, obtuse rotundata vel angulata; pectoralibus flabelliformibus capitis parte postoculari vix vel non brevioribus; ventralibus radiis 2 anterioribus tumidis

simplicibus capitis parte postoculari paulo longioribus; anali forma et magnitudine dorsali radiosae subaequali; caudali obtusa rotundata capitis parte postoculari vix ad non breviore; colore corpore roseo-viridi, inferne dilutiore; iride aurea vel rosea; maxilla superiore postice macula flava fusco cincta; corpore fusco reticulato cellulis retis oculo non ad paulo minoribus; pinnis roseis, dorsali et anali saepe vitta mediana longitudinali fuscescente vel radiis fuscescente variegatis; dorsali spinosa antice dimidio basali maculis 3 ad 1 nigricante-fuscis oblongis vel rotundatis margaritaceo annulatis.

B. 6. D. 11/14 vel 11/15 P. 2/16. V. 1/5. A. 2/14 vel 2/15. C. 1/12/1 et lat. brev.

Hab. Solor (Larantuca); Amboina; Goram, in mari.

Longitudo 8 speciminum 60‴ ad 86‴

Rem. Cette espèce est éminemment distincte par le prolongement relativement peu notable de la mâchoire supérieure, par l'absence de trou dans la membrane maxillo-mandibulaire, par la formule des écailles et par la tache noirâtre sur la base des premières épines dorsales. C'est la seule espèce connue des vrais Opisthognathus où le nombre des écailles est relativement si peu considérable.

GNATHYPOPS Gill = Lonchopistus Gill.

Corpus subelongatum. Dorsum antice et regio scapulo-thoraco-gularis squamis nullis. Maxilla superior postice truncata longe ante praeoperculi marginem posteriorem desinens. Dentes maxillis pluriseriati acuti, serie externa fortiores. Pinnae, dorsalis et analis alepidotae, dorsalis spinis flexilibus 10 ad 12 et radiis 14 ad 17, analis spinis flexilibus 2 et radiis 13 ad 16.

Les deux espèces indo-archipélagiques sont faciles à distinguer par les caractères brièvement exposés ci-dessous:

I. Hauteur du corps 5 à 5½ fois dans longueur totale. Membrane maxillo-mandibulaire sans trou.

a. 110 à 120 écailles sur une rangée longitudinale. D. 12/16 ou 12/17. P. 2/20. A. 2/15 ou 2/16. Tête 3½ fois dans la longueur totale Corps et nageoires dorsale et anale à gouttelettes éparses et noirâtres.

1 *Gnathypops papuensis* Blkr

b. Environ 65 écailles sur une rangée longitudinale. D. 10/14 ou 10/15. P. 2/18. A. 2/13 ou 2/14. Tête 4 fois dans la longueur totale. Une série de cinq taches brunes sur la base de la dorsale.

2 *Gnathypops Rosenbergii* Blkr

Gnathypops papuensis Blkr, Fig. 2.

Opisthogn. corpore subelongato compresso, altitudine 5 circ. in ejus longitudine, latitudine 1⅓ circ. in ejus altitudine; capie obtuso valde convexo 3⅓ circiter in longitudine corporis; altitudine capitis 1½ fere-, latitudine capitis 2 circ. in ejus longitudine; oculis diametro 3¼ ad 3⅓ in longitudine capitis, minus diametro ¼ distandibus; regione interoculari concava; naribus margini oculi antero-inferiori approximatis, posterioribus rotundis patulis, anterioribus tentaculo lato subdigitato munitis; cute vertice, regionibus perioculari et operculari verruculoso-rugosa; maxilla superiore paulo ante maxillam inferiorem prominente, longe ante marginem praeoperculi posteriorem desinente, 1⅔ circ. in longitudine capitis, postice convexo-truncata, membrana os supramaxillare inter et inframaxillare integra foramine nullo; dentibus maxillis pharyngealibusque conicis acutis pluriseriatis, maxillis serie externa ceteris majoribus curvatis, intermaxillaribus inframaxillaribus majoribus, squamis nucha, dorso antice regioneque thoraco-gulari nullis, cetero corpore minimis, regionem suprascapularem inter et basin pinnae caudalis in series 110 ad 120 transversas dispositis; squamis radios anales anteriores inter et dorsalem in series 40 circ.

longitudinales dispositis quarum 7 circ. lineam lateralem inter et mediam dorsalem radiosam, linea laterali sub dorsalis radiosae dimidio posteriore abrupta tumida tubulis contiguis notata, media cauda vix vel non conspicua ; pinna dorsali parte spinosa parte radiosa vix breviore sed duplo circ. humiliore, parte radiosa corpore minus duplo humiliore oblique et obtuse rotundata; pectoralibus flabelliformibus capite plus duplo brevioribus; ventralibus radiis 2 anterioribus tumidis simplicibus capitis parte postoculari longioribus; anali magnitudine formaque dorsali radiosae subaequali; caudali obtusa rotundata capitis parte postoculari longiore; colore corpore superne roseo-viridi, inferne roseo-margaritaceo; capite corporeque punctis majoribus et minoribus nigricantibus sat numerosis sparsis; pinnis radiis roseo-aurantiacis membrana dilutioribus, dorsali et anali marginem liberam versus fuscescentibus, pectoralibus punctis numerosis-, dorsali analique punctis parcioribus sparsis nigricantibus; iride flava margine orbitali fusca.

B. 6. D. 12/16 vel 12/17. P. 2/20. V. 1/5. A. 2/15 vel 2/16. C. 1/12/1 et lat. brev.

Syn. *Opisthognathus papuensis* Blkr, Descr. trois espèc. inéd. Poissons d'Amboine et de Waigiou, Versl. Kon. Akad. Wet. 2e Rks II p. 333.

Hab. Waigiu, in mari.

Longitudo speciminis unici 250'''.

Rem. Le Gnathypops actuel paraît être la seule espèce du genre à plus de cent écailles sur une rangée longitudinale. Par ce caractère, ainsi que par les gouttes éparses noirâtres du corps et des nageoires dorsale et anale et par la grosseur de la tête, sa distinction est des plus faciles.

Gnathypops Rosenbergii Blkr, Fig. 1.

Opisthogn. corpore subelongato compresso, altitudine 5½ circ in ejus longitudine, latitudine 1¼ ad 1⅓ in ejus altitudine; capite obtuso valde convexo 4 circ. in longitudine corporis; altitudine

capitis 1⅓ circ., - latitudine capitis 1¾ circ. in ejus longitudine; oculis diametro 2⅔ ad 2¾ in longitudine capitis, diametro ¼ ad ⅓ distantibus; regione interoculari concaviuscula; naribus margini orbitae antero-inferiori approximatis, posterioribus rotundis patulis, anterioribus minimis non tentaculatis sed margine elevato claudendis; cute capitis superne, rostro lateribusque verruculoso-rugosa; maxilla superiore paulo ante maxillam inferiorem prominente, sat longe ante angulum praeoperculi desinente, postice obtusa convexo-truncata, 1⅔ circ. in longitudine capitis; membrana os supramaxillare inter et inframaxillare integra foramine nullo; dentibus maxillis pharyngealibusque conicis acutis pluriseriatis, maxillis serie externa ceteris majoribus curvatis, intermaxillaribus inframaxillaribus longioribus; nucha, dorso antice, regionibus suprascapula thoracica et gulo-ventrali alepidotis; squamis cetero corpore parvis regionem suprascapularem inter et basin pinnae caudalis in series 65 ad 70 transversas dispositis; squamis radios anales anteriores inter et dorsalem in series 24 circ. longitudinales dispositis quarum 3 lineam lateralem inter et mediam dorsalem radiosam; linea laterali sub dorsalis radiosae parte anteriore abrupta, tumida, tubulis contiguis notata, cauda inconspicua; pinna dorsali parte spinosa parte radiosa sat multo breviore postrorsum altitudine sensim accrescente parte radiosa postice corpore paulo humiliore parte spinosa postice duplo circ. altiore angulata; pectoralibus flabelliformibus capite duplo circ. brevioribus; ventralibus radiis 2 anterioribus tumidis simplicibus capitis parte postoculari longioribus; anali magnitudine et forma dorsali radiosae subaequali; caudali obtuse rotundata capite absque rostro vix breviore; colore corpore viridescente-roseo? iride pinnisque roseis; dorsali maculis 5 magnis nigricantibus subaequidistantibus, superne fusco marginata; ventralibus dimidio apicali fuscis vel nigris; anali vitta longitudinali irregulari fusca et late fusco marginata; caudali fasciis 2 latis transversis curvatis fuscis.

B. 6. D. 10/14 vel 10/15. P. 2/18. V. 1/5. A. 2/13 vel e/14. C. 1/12/1 et lat. brev.

Syn. *Opisthognathus Rosenbergi* Blkr, Bijdr. ichth. Nias, Nat. T. Ned. Ind. XII p. 220; Günth., Cat. Fish. II p. 256.
Hab. Nias; Singapura; in mari.
Longitudo 2 speciminum 123‴ circ.

Rem. Cette espèce fut établie sur un individu mal conservé, provenant de la mer de Nias. Depuis, j'en ai trouvé un individu à Singapore, où les couleurs des nageoires sont encore bien marquées, mais où le corps ne montre plus aucun détail de la coloration, couleur qui me paraît avoir été plus ou moins verdâtre ou vert-rose.

Le Rosenbergii est voisin du Gnathypops Cuvieri par la formule des écailles, mais le Cuvieri, à en juger d'après la figure dans la grande Histoire naturelle des poissons, a la tête beaucoup moins obtuse et moins tronquée. La dorsale n'y porte point de grandes taches foncées sur la base, mais un grand ocelle entre la quatrième et la huitième épine, et la formule des nageoires donnée par Valenciennes, est D. 10/18. P. 17. A. 2/16.

La Haye, Décembre 1873.

SUR UN

HYGROMÈTRE A BALANCE,

PAR

MAURITS SNELLEN.

Si l'on compare la méthode hygrométrique chimique avec la méthode physique, on doit certainement, quant à l'exactitude des résultats, donner la préférence à la première. Un obstacle sérieux s'oppose toutefois à son application dans la météorologie. Elle nous apprend bien, en effet, la quantité précise de vapeur d'eau, qu'un certain volume d'air tenait en dissolution, mais elle ne fait pas connaître l'état hygrométrique de l'air à un moment déterminé, ce qui est justement ce dont le météorologiste a besoin. Par contre, les divers psychromètres ont le défaut, ou bien de fournir des indications méritant peu de confiance, ou bien d'être d'une observation trop embarrassante. Ce sont sans doute des considérations analogues qui ont conduit M. von Baumhauer à imaginer son hygromètre aréométrique [1]. Cet ingénieux instrument consiste essentiellement en un aréomètre, dont le flotteur est rempli de fragments de pierre ponce, qui ont été imbibés d'acide sulfurique concentré. L'appareil est en outre disposé de façon qu'au moyen d'un aspirateur on peut y faire passer de l'air; celui-ci cédera son eau à l'acide sulfurique, ce qui fera enfoncer l'aréomètre. Si maintenant on connaît la quantité d'air qui a traversé l'instrument, il sera très facile de déterminer,

---

[1]) *Archives Néerlandaises*, t. VI, 1871.

d'heure en heure par exemple, la proportion de vapeur d'eau, en notant le poids qu'il faut enlever du plateau de l'aréomètre pour qu'il reprenne sa position primitive d'équilibre. Au moyen d'une disposition très simple, l'appareil peut d'ailleurs aussi être chargé d'enregistrer lui-même ses indications.

Un avantage spécial de cet instrument est encore que le lieu où l'on observe peut être très différent de celui dont on veut déterminer l'état hygrométrique de l'air. Ce dernier lieu, en effet, peut être mis en communication avec l'appareil par un tube de caoutchouc ou de plomb. De cette manière, en ayant recours à un ballon captif, on serait même en état d'étudier les variations hygrométriques de couches atmosphériques assez élevées.

Ayant eu, il y a quelques mois, l'occasion d'observer un hygromètre de M. von Baumhauer, je remarquai que, même en ne faisant pas fonctionner l'aspirateur, la position de l'instrument est loin de demeurer constante. Cette irrégularité ne peut être attribuée qu'à des variations de température; celles-ci, en effet, amèneront des changements dans la densité de l'huile sur laquelle flotte l'appareil, et l'aréomètre prendra par conséquent une nouvelle position d'équilibre. On comprend que, à raison de la grandeur et de l'irrégularité de la dilatation de l'huile, l'erreur qui en résulte dans les indications de l'instrument doit être assez considérable et ne sera pas facile à éliminer par une correction de température. Pour éviter ces imperfections, ainsi que quelques autres défauts accessoires, tels que la grande fragilité de l'appareil et la difficulté de le réparer, j'ai eu l'idée de déterminer l'augmentation de poids non par un aréomètre, mais au moyen d'une balance. Le petit instrument que j'ai fait construire à cet effet a la disposition suivante.

Les deux extrémités ouvertes d'un tube en U sont en communication, au moyen de bouchons percés, avec de petits tubes de verre deux fois recourbés, dont les branches descendantes sont élargies à leur extrémité, sous forme de petites cloches ouvertes. Le tube en U étant rempli soit de pierre ponce humectée d'acide sulfurique concentré, soit de fragments de chlorure de calcium,

le système des tubes est suspendu à l'un des bras d'une balance, de telle sorte que les petites cloches plongent d'environ 2 cm. dans des godets contenant de l'huile et fixés à un support particulier; au moyen de tubes débouchant sous les cloches, on pourra alors faire passer de l'air sur l'acide sulfurique ou le chlorure de calcium, et déduire de l'augmentation de poids la proportion d'eau contenue dans l'air, sans qu'il soit besoin, comme dans la méthode chimique ordinaire, de détacher le tube exsiccateur. Les indications de cet instrument seront presque indépendantes des variations de température, parce que la partie qui plonge dans l'huile est peu de chose en comparaison du volume total. Un autre avantage consiste en ce que le renouvellement de l'acide sulfurique, qui pour l'hygromètre aréométrique est une manipulation assez longue et délicate, n'offre ici aucune difficulté; il suffit de détacher le tube en U, d'en faire écouler le liquide employé et d'y verser de l'acide concentré frais, opération qu'il est bon de répéter une couple de fois, pour être sûr que tout l'acide dilué est évacué. Au lieu d'acide sulfurique, on peut d'ailleurs aussi se servir de chlorure de calcium. Enfin, on voit aisément que l'appareil est très facile à construire ou, en cas d'accident, à réparer.

Le changement proposé à l'hygromètre aréométrique écarterait donc l'objection qu'on pouvait encore faire à l'introduction de la méthode chimique dans l'hygrométrie météorologique. Quelques observations préliminaires me donnent lieu de croire que l'instrument ne trompera pas mon attente; toutefois, une expérience plus prolongée est nécessaire pour décider s'il satisfait, sous tous les rapports, aux exigences de l'observation journalière.

UTRECHT, Octobre 1874.

REMARQUES.

Je ne puis qu'applaudir aux efforts de M. le Dr. M. Snellen pour faire entrer dans la pratique l'idée, émise par moi, de déterminer l'état hygrométrique de l'air, dans les observatoires météorologiques, non plus par les hygromètres et psychromètres ordinaires, mais par la pesée de l'eau contenue dans un volume

connu d'air. Toutefois, je ne crois pas que la disposition qu'il a adoptée puisse conduire au but, surtout si l'on veut que l'instrument enregistre lui-même les observations.

M. Snellen reproche à mon appareil sa grande fragilité. Ce reproche serait parfaitement fondé si l'instrument devait nécessairement être construit en verre, comme l'était le modèle que M. Snellen a vu à Utrecht. Mais, ainsi que j'en ai fait la remarque (*Arch.*, t. VI, p. 421), il n'y a absolument aucune raison pour ne pas le construire en métal, le corps de l'instrument étant par exemple en tôle de laiton dorée, et les tubes de verre étant remplacés par des tubes de cuivre étirés, très minces, tels qu'on les trouve aujourd'hui dans le commerce.

Le renouvellement de l'acide sulfurique, lorsque celui qui remplissait l'appareil est devenu impropre à absorber plus longtemps la vapeur d'eau, est, comme je l'ai dit p, 423, si simple, que l'opération entière ne prend pas plus d'une couple de minutes et s'exécute tout aussi facilement que le remplissage du tube en U de M. Snellen.

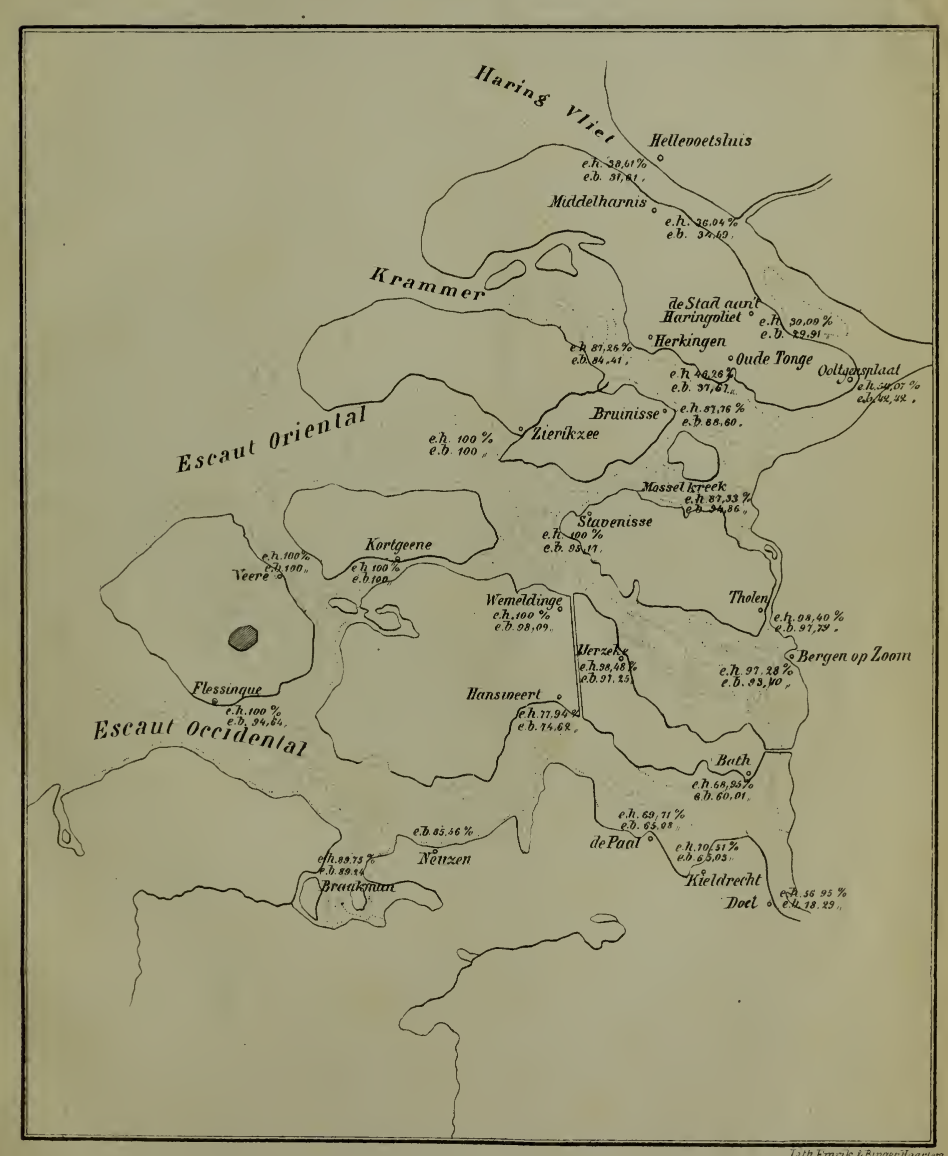
La seule objection sérieuse est celle qui concerne la dilatation irrégulière de l'huile d'olive; il pourra effectivement en résulter, lorsque la température variera, des erreurs assez considérables, parce que l'aréomètre entier plonge dans le liquide. Aussi ai-je recommandé de placer l'appareil dans un local dont la température reste autant que possible constante, par exemple dans une cave. Si les circonstances ne le permettent pas, l'influence que la température exerce sur la position de l'instrument pourra être corrigée en adaptant à l'aréomètre une cloche remplie d'air. La correction ainsi obtenue serait parfaite, si la dilatation de l'huile, entre — 10° C et + 30° C, était aussi uniforme que celle de l'air. Cela n'est malheureusement pas le cas pour l'huile d'olive. Quant à l'huile de pétrole, que j'ai recommandée également (p. 421), j'ignore quelle est sa dilatation; c'est un point que j'espère examiner plus tard.

En ce qui concerne la modification proposée par M. Snellen, j'objecterai que si l'on veut charger l'appareil lui-même, c'est-à-dire ici le fléau de la balance, d'enregistrer les observations, la profondeur plus ou moins grande à laquelle les petites cloches seront plongées dans l'huile exercera sur les indications une influence perturbatrice très appréciable.

E. H. von Baumhauer.

CARTE DES EAUX DE LA ZÉLANDE,

INDIQUANT EN POIDS, LA PROPORTION
D'EAU DE MER CONTENUE DANS 100 PARTIES D'EAU.



Lith. Emrik & Binger Haarlem

Fig. I.

$$\begin{array}{ccccc} & H & & & \\ & | & & & \\ H- & C & -H & & \\ & | & & H & \\ & | & & | & \\ H- & C & - & C & -OH \\ & | & & | & \\ & | & & H & \\ H- & C & -H & & \\ & | & & & \\ & H & & & \end{array}$$

Fig. II.

$$\begin{array}{ccc} & R_1 & \\ & | & \\ H- & C & -H \\ & | & \\ & R_1 & \end{array}$$

Fig. III.

$$\begin{array}{ccc} & R_1 & \\ & | & \\ H- & C & -R_1 \\ & | & \\ & H & \end{array}$$

Fig. IV.

$$\begin{array}{ccc} & R_1 & \\ & | & \\ R_4- & C & -R_2 \\ & | & \\ & R_3 & \end{array}$$

Fig. V.

$$\begin{array}{ccc} & R_1 & \\ & | & \\ R_4- & C & -R_3 \\ & | & \\ & R_2 & \end{array}$$

Fig. VI.

$$\begin{array}{ccc} & R_1 & \\ & | & \\ R_3- & C & -R_2 \\ & | & \\ & R_4 & \end{array}$$

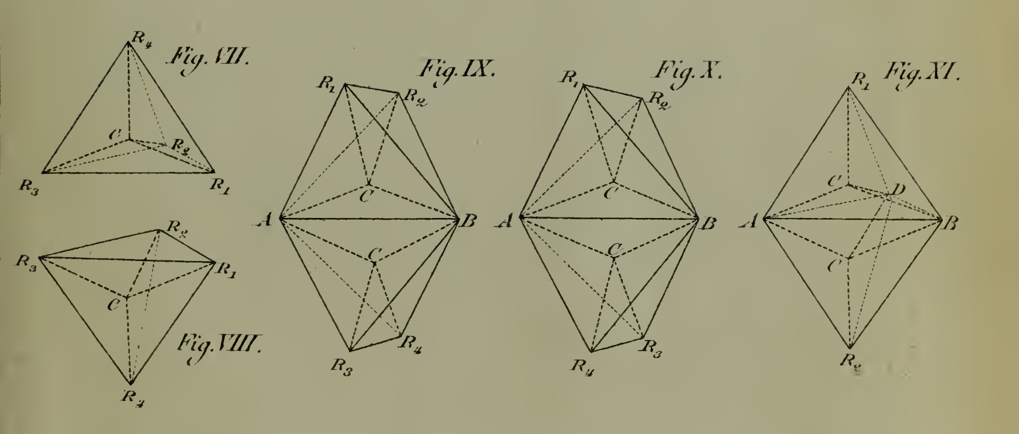


Fig. XII.

C_3H_7 — CH; H_2C, CH_2, HC, CO; C — CH_3

Fig. XIII.

C_3H_7 — CH; H_2C, CH_2, HC, CHOH; C — CH_3

Fig. XIV.

C_3H_7 — CH; H_2C, CH, HC, CH; C — CH_3

Fig. XV.

C_3H_7 — CH; H_2C, CH_2, H_2C, CHOH; CH — CH_3

Lith. Emrik & Binger

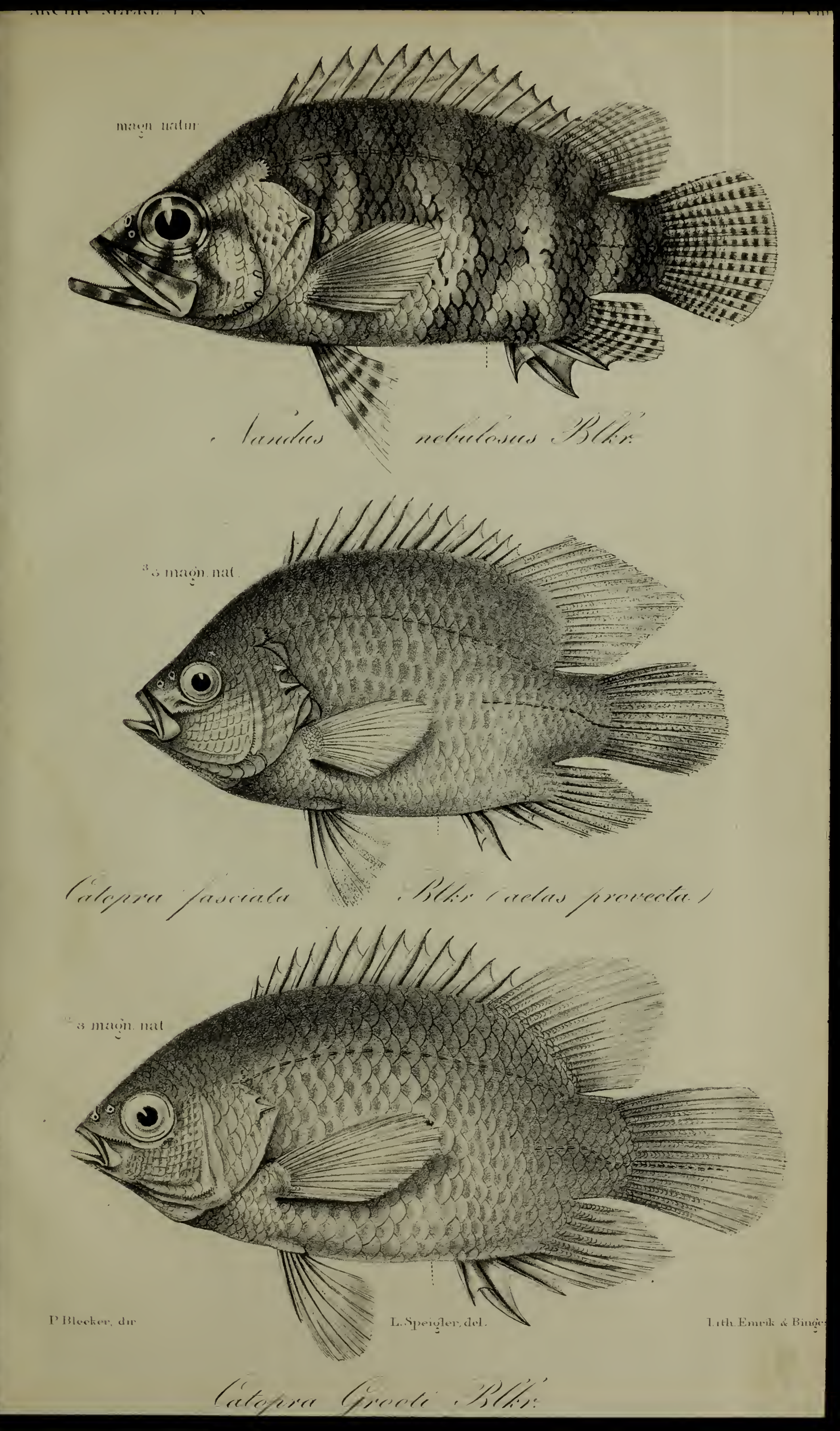
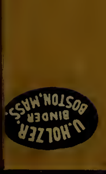

magn. natur.
Nandus nebulosus Blkr.
3/5 magn. nat.
Catopra fasciata Blkr. (aetas provecta.)
2/3 magn. nat.
P. Bleeker, dir.
L. Speigler, del.
Lith. Emrik & Binger
Catopra Grooti Blkr.



Fig. 1. Gnathypops Rosenbergii Blkr. Fig. 2. Gnathypops papuensis Blkr.
Fig. 3. Opisthognathus solorensis Blkr. Fig. 4. Opisthognathus Castelnaui Blkr.


U. HOLZER
BINDER
BOSTON, MASS.

